



TESIS - RC 185401

**STUDI PENGGUNAAN AGREGAT BUATAN  
BERBAHAN DASAR FLY ASH PADA AGREGAT  
KASAR TERHADAP PERKERASAN LENTUR UNTUK  
PENGURANGAN PENGGUNAAN AGREGAT ALAM**

**MIRZA AL MAHBUBI**  
**NRP. 03111750060005**

Dosen Pembimbing  
Ir. Ervina Ahyudanari, ME. Ph.D.

Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2019

## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Teknik (M.T.)**  
di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Mirza Al Mahbubi**  
**NRP. 03111750060005**

Tanggal Ujian : 27 Maret 2019  
Periode Wisuda : September 2019

Disetujui oleh:

**Pembimbing :**

Ir. Ervina Ahyudanari, M.E, Ph.D

NIP. 19690224 199512 2 001

**Penguji :**

1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc, Ph.D  
NIP. 19530408 197603 1 002

2. Dr. Catur Arif P, S.T, M.Eng  
NIP. 19700708 199802 1 001

Kepala Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan



Tri Joko Wahyu Adi, S.T, M.T, Ph.D  
NIP. 19740420 200212 1 003

# **STUDI PENGGUNAAN AGREGAT BUATAN BERBAHAN DASAR FLY ASH PADA AGREGAT KASAR TERHADAP PERKERASAN LENTUR UNTUK PENGURANGAN PENGGUNAAN AGREGAT ALAM**

Nama mahasiswa : Mirza Al Mahbubi

NRP : 03111750060005

Dosen Pembimbing : Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D

## **ABSTRAK**

Kualitas konstruksi perkerasan lentur sangat dipengaruhi oleh komposisi material yang digunakan, meliputi jenis agregat, daya dukung tanah, serta aspal. Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gradasi, kekuatan, bentuk butir, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dan sifat kimia. Agregat memiliki berbagai macam bentuk dan tekstur diantaranya ialah berbentuk bulat dan kubus. Pada saat sekarang ini, pembangunan infrastruktur di Indonesia terus meningkatkan jumlah penggunaan agregat alam, sehingga hal ini akan menyebabkan ketersediaan bahan baku agregat alam terus menipis. Untuk itu, perlu dilakukan suatu upaya yang dapat menemukan alternatif dari penggunaan agregat alam salah satunya adalah pemanfaatan limbah yang dihasilkan pusat pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yaitu *fly ash*. *Fly ash* batu bara harus direaksikan dengan larutan kimia sebagai bahan campur agar dapat menjadi material geopolimer, pada penelitian ini *Fly ash* telah dicampur dengan larutan kimia berupa natrium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), sehingga bisa digunakan sebagai agregat pada campuran aspal. Penggunaan agregat buatan divariasikan berdasarkan pembuatannya, yaitu menggunakan pan granulotor yang menghasilkan bentuk bulat (AB) dan olahan stone crusher (ABSC). Hasil yang diperoleh semua variasi agregat buatan gradasi rapat dan terbuka telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Stabilitas tertinggi adalah sebesar 2118 kg pada campuran 100% AA gradasi terbuka, dan stabilitas terendah adalah variasi 25% AB 75% ABSC pada gradasi rapat yaitu 1258,13 kg. Campuran gradasi terbuka menghasilkan stabilitas yang lebih besar dari gradasi rapat. Penggunaan variasi agregat buatan stone crusher menurunkan nilai stabilitas, akan tetapi masih tetap melewati spesifikasi yang ditentukan yaitu sebesar 971,6 kg untuk perkerasan lentur oleh *federal aviation admistration* (FAA). Sementara untuk nilai durabilitas penggunaan gradasi rapat memberikan nilai durabilitas lebih tinggi yaitu 95,69% untuk campuran 100% AA% sedangkan durabilitas terendah dihasilkan variasi 25% AB 75% ABSC gradasi terbuka sebesar 90,02 %. Nilai durabilitas pada setiap campuran agregat buatan telah memenuhi syarat yaitu  $\geq 90\%$ .

*Kata kunci : agregat buatan, , fly ash, geopolimer, marshall, stability*

# **STUDY OF THE USE ARTIFICIAL AGGREGATES BASED ON FLY ASH IN COARSE AGGREGATE FOR FLEXIBLE PAVEMENT TO REDUCE THE USE OF NATURAL AGGREGATE**

By : Mirza Al Mahbubi  
NRP : 03111750060005  
Supervisor : Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D

## **ABSTRACT**

The quality of flexible pavement construction is strongly influenced by the composition of the material used, including the type of aggregate, bearing capacity, and asphalt. Selection of the type of aggregate suitable for use in pavement construction is influenced by several factors, namely gradation, strength, grain shape, surface texture, attachment to asphalt and cleanliness and chemical properties. Aggregates have various forms and textures including round and cube shapes. At present, infrastructure development in Indonesia continues to increase the amount of natural aggregate use, so this will cause the availability of aggregate. For this reason, an effort needs to be made to find an alternative to the use of natural aggregate, one of which is the utilization of waste generated by the steam power plant (PLTU), namely fly ash. Fly ash coal must be reacted with chemical solutions as a mixed material so that it can be a geopolymer material, in this study Fly ash has been mixed with a chemical solution in the form of sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), so that it can be used as an aggregate in asphalt mixture. The use of artificial aggregates is varied based on the manufacture, which is using pan granulator which produces round (AB) and processed stone crusher (ABSC). The results obtained by all artificial aggregate variations of dense and open gradations have met the specified specifications. The highest stability is 2118 kg in the 100% AA mixture of open gradation, and the lowest stability is the variation of 25% AB 75% ABSC on the dense gradation of 1258.13 kg. An open gradation mixture produces greater stability than the gradation of the meeting. The use of aggregate variations made by stone crusher reduced the value of stability, but still passed the specified specifications of 971.6 kg for flexible pavement by the federal aviation administration (FAA). While for the durability value, dense gradations gives a higher durability value that is 95.69% for a mixture of 100% AA% while the lowest durability results in a variation of 25% AB 75% ABSC open gradation of 90.02%. Durability values in each artificial aggregate mixture meet the requirements, namely  $\geq 90\%$

Keywords: artificial aggregates, fly ash, geopolymers, marshall, stability

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul *Studi Penggunaan Agregat Buatan Berbahan Dasar Fly Ash Pada Agregat Kasar Terhadap Perkerasan Lentur Untuk Pengurangan Penggunaan Agregat Alam*. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan kuliah Program Magister, Bidang Keahlian Manajemen Rekayasa Transportasi, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihutan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Terimakasih untuk kedua orang tua Bapak H. Ali Basrah S.pd, MM dan Ibu Hj. Asnwati S.pd, MM yang selalu memotivasi penulis apapun keadaannya, sehingga bisa sampai pada ke tahap ini.
2. Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D selaku Dosen Pembimbing.
3. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, Msc., Ph.D selaku Dosen penguji.
4. Dr. Catur Arif Prastyanto, ST., M.Eng selaku Dosen penguji.
5. Seluruh dosen pengajar bidang keahlian Manajemen Rekayasa Transportasi, Departemen Teknik Sipil, FTSLK, ITS.
6. Seluruh teknisi Laboratorium Perhubungan dan Bahan Konstruksi Jalan serta Laboratorium Struktur Departemen Teknik Sipil, FTSLK, ITS, yang selalu membantu kegiatan penelitian.
7. Teman-teman Manajemen Rekayasa Transportasi angkatan 2017 Departemen Teknik Sipil, FTSLK, ITS terutama teman seperjuangan di Lab yaitu Bagus, Anwar dan Nova.
8. Keluarga tercinta yang ada di Surabaya, Ganda, Michel, Putra, Ari, dan Mahen.
9. Kepada Yazri Yana yang selalu menyemangati di setiap keadaan.
10. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu namanya

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa dalam Tesis ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat penulis harapkan, akhir kata semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya,   Maret 2019

Penulis





## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

### BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang .....	1
1.2	Perumusan Masalah.....	4
1.3	Batasan Masalah.....	5
1.4	Tujuan Penelitian.....	5
1.5	Manfaat Penelitian.....	5

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Umum.....	7
2.2	Perkembangan Riset di Bidang Peralasan Lentur .....	8
2.3	Bahan Campuran Aspal.....	9
2.3.1	Agregat.....	9
2.3.2	Agregat Kasar .....	11
2.3.3	Agregat Halus .....	11
2.3.4	Filler .....	12
2.3.5	Aspal .....	12
2.4	Perencanaan Campuran Aspal.....	14
2.4.1	Gradasi Agregat .....	14
2.5	Geopolimer.....	16
2.5.1	Penggunaan Geopolimer .....	17
2.5.2	Material Penyusun Geopolimer .....	17
2.5.3	Proporsi Campuran Geopolimer .....	19



2.5.4	Sifat Fisik dan Mekanik Geopolimer .....	19
2.6	Uji Marshall .....	20
2.7	Penelitian Terdahulu Tentang Agregat Buatan.....	20

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Material yang Digunakan.....	23
3.2	Peralatan yang Digunakan .....	23
3.3	Prosedur Penelitian .....	23
3.3.1	Pembuatan Agregat Buatan .....	23
3.3.2	Pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat .....	26
3.3.3	Pemeriksaan Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ).....	29
3.3.4	Pemeriksaan Aspal .....	29
3.3.5	Perencanaan Campuran Aspal Beton .....	31
3.3.6	Pembuatan Campuran Aspal Beton.....	33
3.3.7	Pengujian Campuran Beraspal.....	34
3.3.8	Analisis Data .....	37
3.4	Tahapan Penelitian.....	41

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pemeriksaan Bahan.....	43
4.1.1	Pemeriksaan Bahan Agregat.....	43
4.1.2	Pemeriksaan Aspal .....	47
4.2	Pengujian Campuran Aspal .....	49
4.2.1	Pengujian Campuran dengan Metode <i>Marshall</i> .....	49
4.2.2	Penentuan KAO dengan Metode <i>Marshall</i> .....	83
4.2.3	Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> (KAO) .....	101
4.2.4	Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> 24 jam .....	108
4.3	Diskusi .....	110

### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan .....	113
5.2	Saran .....	114



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Gradasi Agregat Terbuka BBA .....	15
Tabel 2.2	Spesifikasi Gradasi Agregat Untuk Bandara .....	16
Tabel 3.1	Perhitungan Kebutuhan Agregat .....	24
Tabel 3.2	Perhitungan Kebutuhan Agregat .....	25
Tabel 3.3	Spesifikasi Agregat Kasar .....	24
Tabel 3.4	Spesifikasi Agregat Halus .....	27
Tabel 3.5	Spesifikasi Aspal Keras Penetrasi 60/70 .....	31
Tabel 3.6	Gradasi agregat yang digunakan dalam peneletian .....	34
Tabel 3.7	Persyaratan Campuran Lapis Aspal Beton .....	34
Tabel 3.8	Persyaratan Campuran Lapis Aspal Beton untuk Bandara .....	32
Tabel 3.9	Kebutuhan benda uji untuk pengujian <i>Marshall</i> .....	35
Tabel 3.10	Kebutuhan benda uji untuk pengujian perendaman .....	36
Tabel 3.11	Rekapitulasi perhitungan kebutuhan benda uji .....	37
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat .....	44
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal .....	47
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Marshall (100% AA) .....	50
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Marshall (25%AB 75% AA) .....	50

Tabel 4.5	Data Hasil Pengujian Marshall (25% AB 25% ABSC 50% AA)..51
Tabel 4.6	Data Hasil Pengujian Marshall (25% AB 75 ABSC).....51
Tabel 4.7	Nilai Kakersitik Marshall 100% AA .....56
Tabel 4.8	Nilai Kakersitik Marshall 25%AB 75% AA.....56
Tabel 4.9	Nilai Kakersitik Marshall 25% AB 25% ABSC 50% AA .....57
Tabel 4.10	Nilai Kakersitik Marshall 25%AB 75% ABSC.....57
Tabel 4.11	Rekapitulasi Hasil Karaktersitik Marshall Perendaman 30 Menit 100% AA .....97
Tabel 4.12	Rekapitulasi Hasil Karaktersitik Marshall Perendaman 30 Menit 25% AB 75% AA .....97
Tabel 4.13	Rekapitulasi Hasil Karaktersitik Marshall Perendaman 30 Menit 25% AB 25% ABSC 50% AA.....97
Tabel 4.14	Rekapitulasi Hasil Karaktersitik Marshall Perendaman 30 Menit 25% AB 75% ABSC .....98
Tabel 4.15	Data Hasil Pengujian dan Perhitungan Durabilitas Gradasi Rapat .....90
Tabel 4.16	Data Hasil Pengujian dan Perhitungan Durabilitas Gradasi Terbuka .....104

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Distribusi Pembebanan Perkerasan Kaku dan Lentur .....	7
Gambar 2.2	Grafik Distribusi Masing-masing Gradasi .....	15
Gambar 3.1	Gambar 3.1 (a) cetakan setengah bola, (b) fly ash (c) alkali aktivator .....	24
Gambar 3.2	Bagan Alir Penelitian .....	41
Gambar 4.1	(a) Pemecah Batu (Stone Crusher) (b) Agregat Buatan Stone Crusher (ABSC) .....	45
Gambar 4.2	Grafik Kepadatan (density) pada Gradasi Rapat FAA.....	59
Gambar 4.3	Grafik Kepadatan (density) pada Gradasi Terbuka BBA.....	61
Gambar 4.4	Grafik Stabilitas pada Gradasi Rapat FAA .....	63
Gambar 4.5	Grafik Stabilitas Pada Gradasi Terbuka BBA.....	64
Gambar 4.6	Grafik Kelelehan (mm) pada Gradasi Rapat FAA.....	66
Gambar 4.7	Grafik kelelehan (mm) pada gradasi terbuka BBA.....	68
Gambar 4.8	Grafik Rongga dalam Campuran (%) pada gradasi rapat FAA.....	70
Gambar 4.9	Grafik Rongga dalam Campuran (%) pada gradasi terbuka BBA .....	71
Gambar 4.10	Grafik Rongga Dalam Agregat (%) pada Gradasi Rapat.....	73
Gambar 4.11	Grafik Rongga Dalam Agregat (%) pada Gradasi Terbuka .....	75
Gambar 4.12	Grafik Rongga Terisi Aspal (%) untuk Gradasi Rapat .....	77
Gambar 4.13	Grafik Rongga Terisi Aspal (%) untuk Gradasi Terbuka .....	79
Gambar 4.14	Grafik <i>Marshall Quotient</i> pada Gradasi Rapat .....	81
Gambar 4.15	Grafik <i>Marshall Quotient</i> pada Gradasi Terbuka .....	82
Gambar 4.16	Grafik Parameter Marshall pada Gradasi Rapat (V2).....	83
Gambar 4.18	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada	

Gradasi Rapat (V2) .....	84
Gambar 4.19 Penentuan Kadar Aspal Optimum 100% AA Gradasi Rapat .....	84
Gambar 4.20 Grafik Parameter Marshall 100% AA Gradasi Rapat .....	85
Gambar 4.21 Penentuan Kadar Aspal Optimum 100% AA Gradasi Rapat .....	86
Gambar 4.22 Penentuan Kadar Aspal Optimum	
25%AB 75% AA Gradasi Rapat .....	87
Gambar 4.23 Grafik Parameter Marshall 25%AB 75% ABSC Gradasi Rapat .....	88
Gambar 4.24 Penentuan Kadar Aspal Optimum	
25%AB 75% ABSC Gradasi Rapat .....	89
Gambar 4.25 Grafik Parameter Marshall pada Gradasi Terbuka (V2) .....	90
Gambar 4.26 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Gradasi Terbuka (V2) .....	91
Gambar 4.27 Grafik Parameter Marshall 100% AA pada Gradasi Terbuka .....	92
Gambar 4.28 Penentuan Kadar Aspal Optimum 100% AA pada	
Gradasi Terbuka .....	92
Gambar 4.29 Grafik Parameter Marshall 25% AB 75% AA pada	
Gradasi Terbuka .....	93
Gambar 4.30 Penentuan Kadar Aspal Optimum	
25% AB 75% AA pada Gradasi Terbuka .....	94
Gambar 4.31 Grafik Parameter Marshall 25% AB 75% ABSC pada	
Gradasi Terbuka .....	95

Gambar 4.32 Penentuan Kadar Aspal Optimum

25% AB 75% ABSC pada Gradasi Terbuka .....96

Gambar 4.33 Perbandingan Stabilitas (kg) Anrara Variasi Campuran .....98

Gambar 4.34 Perbandingan Flow (mm) Anrara Variasi Campuran .....99

Gambar 4.35 Perbandingan VIM (%) Anrara Variasi Campuran .....100

Gambar 4.36 Perbandingan VMA (%) Anrara Variasi Campuran .....101

Gambar 4.37 Perbandingan VFA (%) Anrara Variasi Campuran .....102

Gambar 4.38 Perbandingan MQ (kg/mm) Anrara Variasi Campuran .....103

Gambar 4.39 Perbandingan Durabilitas (%) Antara Variasi Campuran .....105



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kualitas konstruksi perkerasan lentur sangat dipengaruhi oleh komposisi material yang digunakan, meliputi jenis agregat, daya dukung tanah, serta aspal. Material yang digunakan harus menghasilkan campuran perkerasan yang mampu menahan beban yang kuat serta tahan lama. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi kekuatan beton aspal antara lain sifat dari material campuran (*binder*, agregat, *additive*) dan komposisi campuran material tersebut (Agustian, 2016)

Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gradasi, kekuatan, bentuk butir, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dan sifat kimia. Jenis dan campuran agregat sangat mempengaruhi daya tahan atau stabilitas suatu perkerasan jalan (Krebs & Walker, 1971). Bentuk dan tekstur agregat mempengaruhi stabilitas dari lapisan perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut (Sukirman, 1999).

Agregat dalam klasifikasi pengolahannya terbagi menjadi agregat alam dan agregat buatan. Agregat alam adalah agregat yang dihasilkan dari eksplorasi batu yang ada di alam, sedangkan agregat buatan adalah agregat yang didapat dari proses fisika atau kimia dari suatu material sehingga sifatnya menyerupai agregat. Pada saat sekarang ini, pembangunan infrastruktur di Indonesia terus meningkatkan jumlah penggunaan agregat alam, sehingga hal ini akan menyebabkan ketersediaan bahan baku agregat alam terus menipis. Peningkatan jalan dengan cara penambahan lapis tambahan yang terus menerus akan menyebabkan tebal lapis perkerasan semakin tebal dan bahan yang diperlukan semakin menipis (Balitbang, 2012). Penggunaan agregat alam secara masif ini juga akan mengancam kondisi lingkungan. Kebutuhan bahan baku agregat untuk mendukung pembangunan infrastruktur tidak dapat sepenuhnya terpenuhi di setiap daerah Indonesia, terutama di daerah terpencil. Direktorat Jenderal (Dirjen) Bina

Marga (2018) memaparkan salah satu kesulitannya adalah keterbatasan material untuk membangun jalan guna menciptakan konektivitas di daerah terpencil seperti di Asmat. Untuk itu, perlu dilakukan suatu upaya yang dapat menemukan alternatif dari penggunaan agregat alam salah satunya adalah pemanfaatan limbah sisa pembakaran batu bara atau Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Ada banyak penelitian yang sudah dilakukan mengenai penggunaan limbah sebagai agregat buatan. Bhakti, Olivia, dan Kamaldi (2015) meneliti agregat buatan geopolimer dengan bahan dasar *fly ash* dan abu sawit, hasilnya kuat tekan pada campuran pasta geopolimer mengalami peningkatan. Yoo, Park dan Vo (2016) melakukan penelitian tentang pemanfaatan *coal ash* sebagai agregat halus dalam campuran aspal, hasilnya penambahan 20% coal ash dianggap paling optimum dengan meningkatkan ketahanan *fatigue cracking*. Ada juga produksi agregat ringan buatan menggunakan *bottom ash* dari pembakaran limbah padat perkotaan. Ini diterapkan dengan menstabilkan bagian bawah abu dengan menambahkan semen, kapur sebagai bahan pengikat dan dibuat menggunakan *rotary granulator pan* (R. Cioffi, dkk, 2011). Berbagai macam jenis limbah telah diinovasikan menjadi alternatif untuk agregat buatan, salah satunya adalah abu terbang (*fly ash*)

*Fly ash* merupakan hasil dari sisa pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Karena penggunaan batu bara sebagai sumber energi berkembang pesat maka hasil pembakaran berupa abu (*fly ash* dan *bottom ash*) juga ikut meningkat tinggi. *Fly ash* bisa berdampak buruk terhadap lingkungan jika dibiarkan begitu saja seperti, pencemaran udara dan kerusakan terhadap ekosistem. Salah satu penanganan lingkungan yang dapat diterapkan adalah memanfaatkan limbah fly ash untuk keperluan bahan bangunan teknik sipil (Wardani, 2008). Pemanfaatan *fly ash* sebagai material geopolimer mempunyai sifat yang keras, tahan terhadap cuaca, serangan kimia, suhu tinggi, dan apabila dicampur dengan pasir atau mineral lain dapat menyerupai keramik (Davidovits, 1991). *Fly ash* batu bara harus direaksikan dengan larutan kimia sebagai bahan campur agar dapat menjadi material geopolimer.

Geopolimer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan – bahan yang banyak mengandung silika dan aluminium seperti *fly ash*, abu kulit padi, abu tebu dan lain lain. Aluminium (Al) dan Silika

(Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davidovits, 2008). Jenis dan bahan kimia yang digunakan sebagai aktivator harus menyesuaikan sifat kimia *fly ash*. Komposisi penggunaan aktivator harus proporsional agar dapat mencapai bentuk geopolimer yang baik. Selain dari pada pemilihan jenis material dan berbagai masalah yang disebutkan diatas, pemilihan gradasi juga sangat mempengaruhi kualitas dari suatu campuran aspal. Gradasi agregat dapat dikatakan sangat mempengaruhi pada campuran beraspal karena gradasi agregat berfungsi memberikan kekuatan yang pada akhirnya mempengaruhi stabilitas dalam campuran, dengan kondisi saling mengunci (interlocking) dari masing-masing partikel agregat kasar (Sumiati & Sukarman, 2014). Gradasi menentukan kriteria design seperti apa yang ingin kita capai. Penggunaan gradasi menerus dan terbuka tentu akan memberikan hasil karakteristik campuran yang berbeda. Agregat bergradasi terbuka akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat tertentu (permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, berat volume kecil) (Jansen, 2017).

Untuk mengetahui karakteristik campuran aspal yang digunakan, maka akan dilakukan pengujian Marshall dan durabilitas. Durabilitas adalah ketahanan (durability) perkerasan akibat pengaruh cuaca dan air. Iklim di Indonesia memiliki curah hujan yang tinggi, kemungkinan jalan terendam air pada jangka waktu yang lama akan tinggi pula. Untuk mendapatkan durabilitas yang baik biasanya dibutuhkan kadar aspal yang tinggi. Walaupun dengan menggunakan kadar aspal yang tinggi tetapi bila jalan tersebut selalu terendam oleh air maka lambat laun jalan akan cepat mengalami kerusakan (getas) sebelum mencapai batas umur rencana (Tahir & Setiawan, 2009). Untuk itu perlu dilakukan pengujian durabilitas pada penelitian ini agar diketahui ketahanan terhadap air dari penggunaan agregat buatan dalam campuran aspal. Oleh karena itu perencanaan campuran aspal yang digunakan harus mampu memberikan kekuatan, tahan terhadap air, serta awet dan bertahan sampai umur rencana.

Berdasarkan uraian diatas, akan dilakukan penelitian bagaimana pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan dasar agregat buatan pada perkerasan lentur dengan parameter Marshall, *Fly ash* akan dicampur dengan larutan kimia berupa natrium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Dalam penelitian ini agregat buatan *fly ash geopolymer* yang digunakan sebagai bahan campuran

perkerasan hanya digunakan pada agregat kasar dan akan divariasikan dengan bentuk bulat hasil dari penggunaan granulator serta pecahan yang dihasilkan dari *stone crusher*.

Pada penelitian sebelumnya, penggunaan agregat buatan yang digunakan pada campuran aspal hanya berbentuk bulat saja, hasilnya diperoleh penambahan 25% Agregat buatan berbentuk bulat adalah yang paling optimum pada campuran aspal. Hasil analisa ini memberikan pemanfaatan fly ash masih sedikit dalam campuran sehingga perlu dikembangkan agregat buatan yang mampu secara masif menggantikan penggunaan agregat alam. Agregat bulat ini tidak memiliki sudut, sehingga tidak memiliki faktor interlocking yang kuat dan tidak dapat sepenuhnya digunakan dalam campuran aspal. Untuk itu, dilakukan penambahan penggunaan agregat buatan yang berbeda dan memiliki sudut.

Agregat buatan olahan *stone crusher* divariasikan dalam campuran aspal sehingga mampu memberikan penggunaan agregat buatan yang lebih banyak dalam campuran. Agregat buatan *stone crusher* ini diperoleh dari cara yang berbeda dari agregat bulat. Metode pembuatannya yaitu dengan membuat pasta geopolimer terlebih dahulu, kemudian dihancurkan menggunakan alat *stone crusher*.

Ada dua Gradasi yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu gradasi rapat mengikuti aturan spesifikasi *federal aviation administration* (FAA) dan gradasi terbuka mengikuti modifikasi oleh Beton bitumineux Aeronautiques (BBA). Dikarenakan penelitian ini menggunakan variasi agregat buatan yang belum pernah diteliti sebelumnya, untuk itu perlu dilakukan pengujian karakteristik Marshall dan pengujian nilai durabilitas agar diketahui apakah campuran ini bisa diterapkan dalam perkerasan. Penelitian ini diharapkan mampu memberi alternative penggunaan agregat alam dalam campuran aspal untuk perkerasan lentur serta menjadi inovasi terhadap pengolahan limbah *fly ash*.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Untuk menyelesaikan penelitian tentang penggunaan agregat buatan berbahan fly ash terhadap karakteristik campuran aspal maka diambil perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik agregat buatan yang dihasilkan dari olahan stone crusher dan pan granulator?
2. Bagaimana nilai kadar aspal optimum pada setiap variasi campuran meliputi 100% agregat alam (AA), 25% agregat bulat (AB) 75% AA, 25% agregat buatan *stone crusher* (ABSC) 25% AB 50% AA, dan 25% AB 75% ABSC pada setiap gradasi?
3. Bagaimana nilai karakteristik Marshall yang di hasilkan pada setiap variasi campuran?
4. Bagaimana durabilitas campuran aspal dengan penggunaan agregat buatan geopolimer?

### **1.3 Batasan Masalah**

Untuk memfokuskan pembahasan, maka pada penelitian ini diberikan batasan - batasan masalah sebagai berikut :

1. Aspal menggunakan penetrasi 60/70.
2. Geopolimer yang digunakan adalah *fly ash* batu bara dengan aktivator NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .
3. Komposisi agregat buatan yang digunakan mengikuti komposisi campuran yang telah ditentukan pada penelitian yang telah ada
4. Gradasi agregat yang digunakan sesuai dengan spesifikasi FAA dan BBA.
5. Agregat buatan hanya digunakan pada agregat kasar.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Penelitian tentang penggunaan agregat buatan berbahan fly ash terhadap karakteristik campuran aspal ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan agregat buatan dengan gradasi rapat dan terbuka mengikuti spesifikasi FAA terhadap campuran aspal dengan parameter Marshall.
2. Mengetahui variasi campuran terbaik agregat buatan dalam campuran aspal

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dengan adanya penelitian, ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Mendapatkan pemahaman mengenai pengaruh penggunaan agregat buatan yang dihasilkan dari *stone crusher* dalam campuran aspal.
2. Dapat dijadikan sebagai acuan untuk penelitian berikutnya.
3. Memberikan alternatif dalam pemanfaatan limbah *fly ash* untuk digunakan dalam perkerasan lentur.

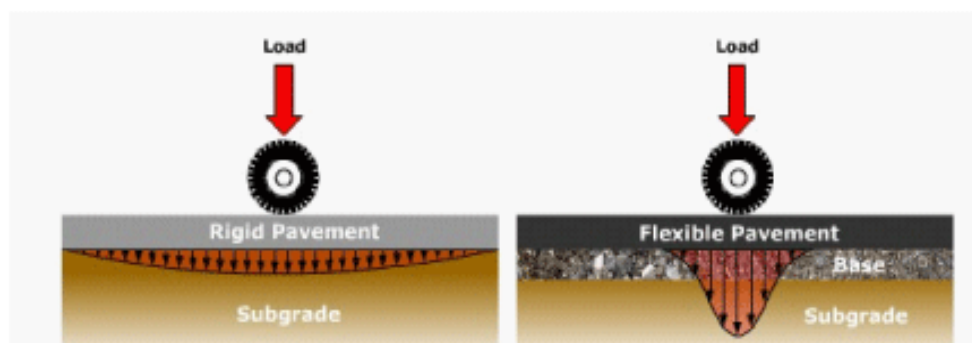
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan teori–teori yang mendukung permasalahan dalam penelitian ini. Teori–teori tersebut dikutip dari hasil penelitian terdahulu dan pendapat para ahli serta dari referensi–referensi yang ada.

#### 2.1 Umum

Ada tiga jenis lapis perkerasan yang terdapat di Indonesia yaitu Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) memiliki ciri aspal sebagai lapisan bahan pengikat, sifat lapisan memikul dan menyalurkan beban lalu lintas ketanah dasar. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) dengan ciri semen sebagai lapisan bahan pengikat (dengan atau tanpa tulangan), beban lalu lintas dipikul oleh plat beton, dapat/tanpa menggunakan lapis pondasi. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*) yang merupakan kombinasi antara perkerasan lentur dengan kaku yang mana perkerasan lentur berada di atas perkerasan kaku. Perbedaan struktural utama antara perkerasan kaku dan lentur adalah cara distribusi beban lalu lintas terhadap tanah dasar, perkerasan kaku memiliki kekakuan yang sangat tinggi dan mendistribusikan beban di atas area subgrade yang relatif luas, sebagian besar kapasitas struktural didukung oleh pelatnya sendiri. Sedangkan perkerasan lentur daya dukung ketahanan bebannya terdistribusi ke setiap sistem lapisan (Yoder dan Witczak, 1975), dapat dilihat pada Gambar 2.1 ilustrasi pembebanan dari masing-masing perkerasan.



Gambar 2.1 Distribusi pembebanan perkerasan kaku dan lentur (Texas Department Of Transportation, 2018)



Perkerasan lentur merupakan perkerasan jalan yang umum dipakai di Indonesia. Konstruksi perkerasan lentur disebut “lentur” karena konstruksi ini mengizinkan terjadinya deformasi vertikal akibat beban lalu lintas yang terjadi. Perkerasan lentur biasanya terdiri dari 3 lapis material konstruksi jalan diatas tanah dasar, yaitu lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas, dan lapis permukaan (Sukirman, 2003).

## **2.2 Perkembangan Riset di Bidang Perkerasan Lentur**

Penelitian di bidang perkerasan lentur terus mengalami inovasi terbaru. Para peneliti terus melakukan riset meliputi jenis material berupa agregat maupun aspal. Berikut adalah beberapa penelitian tentang perkerasan lentur :

- Dima *et al.* (2017) melakukan penelitian dengan judul ‘*Evaluation of Sustainability of Flexible Pavement*’, didalam penelitiannya dibandingkan beberapa metode analisis design untuk sustainable pavement, hasilnya penggunaan metode *The Asphalt Institute and Long Lasting Flexible Pavement* (LLFP) membuktikan bahwa analisa dalam metode ini memberikan keuntungan bagi lingkungan dan lebih ekonomis.
- Chavan (2013) melakukan penelitian yang berjudul ‘*Use Of Plastic Waste In Flexible Pavement*’ dalam penelitiannya penggunaan plastik jenis *Polyethylene* dan *polypropylene* dijadikan bahan tambah terhadap agregat dengan menggunakan alat *shredding machine*. Hasilnya menunjukkan lapisan plastik yang digunakan pada agregat memberikan kinerja jalan yang lebih baik. Ini membantu untuk memiliki pengikatan aspal yang lebih baik dengan agregat yang dilapisi plastik karena ikatan meningkat dan meningkatkan luas kontak antara polimer dan aspal. Lapisan polimer juga mengurangi rongga. Ini mencegah penyerapan kelembaban dan oksidasi aspal oleh udara yang terperangkap. Hal ini mengakibatkan berkurangnya rutting, raveling dan tidak ada pembentukan lubang, sehingga konstruksinya dapat menahan lalu lintas yang padat dan menunjukkan daya tahan yang lebih baik.

## 2.3 Bahan Campuran Aspal

Agregat, aspal dan *filler* merupakan bahan dasar dari campuran beraspal. Kualitas campuran beraspal sangat ditentukan oleh mutu dari kedua bahan tersebut.

### 2.3.1 Agregat

Agregat secara umum didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. Sifat mekanis campuran aspal sangat dipengaruhi oleh fraksi dan sifat agregat, Karena agregat mengisi mayoritas dari campuran aspal yaitu volume (lebih dari 80%) dan massa (sekitar 95%), kinerja fisik dan mekanik campuran sangat dipengaruhi oleh geometrik morfologi partikel agregat dan interlocking diantara besaran (ukuran) partikel-partikel agregat (Wang, Bu, Wang, Yang, & You, 2016). Agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, serta abu batu/mineral *filler*. Agregat berdasarkan pengolahannya dibedakan atas:

- Agregat siap pakai, yaitu agregat yang dipergunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana diperoleh di lokasi asalnya atau dengan sedikit proses pengolahan, agregat ini terbentuk berdasarkan proses erosi dan degradasi. Agregat ini sering disebut agregat alam.
- Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai, yaitu agregat yang diperoleh di bukit-bukit, di gunung-gunung, ataupun di sungai-sungai. Agregat di gunung dan di bukit umumnya ditemui dalam bentuk masif, sehingga perlu dilakukan pemecahan dahulu supaya dapat diangkat ke tempat mesin pemecah batu (*stone crusher*).
- Agregat buatan adalah agregat yang didapatkan dari proses kimia atau fisika dari beberapa material sehingga menghasilkan suatu material baru yang sifatnya menyerupai agregat. Beberapa jenis dari agregat ini merupakan hasil sampingan dari proses industri dan dari proses material yang sengaja diproses agar dapat digunakan sebagai agregat atau sebagai mineral pengisi (*filler*).

Jaya et al. (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh bentuk agregat terhadap volumetric campuran aspal, hasilnya Propertis volumetrik meningkat ketika agregat berbentuk kubus digunakan dalam campuran,

serta meningkatkan resilient dan stiffness modulus. Sengoz, Onson, and Topal (2014) meneliti pengaruh bentuk agregat terhadap sifat permukaan dalam perkerasan lentur. Dalam penelitiannya, disimpulkan tekstur permukaan perkerasan lentur sangat bergantung dari bentuk agregat serta gradasi yang digunakan. Oleh karena itu bentuk agregat juga mempengaruhi *skid-resistance* pada perkerasan.

Agregat harus memiliki sifat yang mampu merekat terhadap aspal. Di bawah aksi putaran ban berkecepatan tinggi, uap air pada jalan menghasilkan tekanan hidrodinamik, yang menyebabkan aspal bergeser dari permukaan agregat, sehingga menyebabkan terjadinya lubang pada permukaan, raveling dan masalah lainnya. Salah satu penyebab utama gangguan ini adalah sifat perekat yang buruk antara aspal dan agregat. Oleh karena itu, pada saat desain perkerasan, metode yang tepat harus digunakan untuk mendeteksi sifat perekat antara agregat dan aspal (Cui, Xiao, Yan, Li, & Wu, 2018).

Cui *et al* (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh karakteristik bentuk dan tekstur agregat terhadap kinerja campuran aspal, untuk melihat perilaku morfologi agregat digunakan *aggregate image measurement systems* (AIMS). Dalam alat ini partikel morfologi dapat sepenuhnya terlihat yaitu kebulatan (*sphericity*), *angularity*, dan tekstur permukaan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan *angularity* dan *sphericity* dapat secara serius mempengaruhi ikatan antara aspal dan agregat, dan menentukan apakah kombinasi aspal dan agregat tahan lama, sehingga mempengaruhi umur layanan dan kinerja layanan perkerasan aspal. Ada hubungan linear antara *angularity* atau *sphericity* agregat dan rasio cakupan aspal. Semakin besar kekakuan, semakin kasar teksturnya, dan semakin kecil kebulatannya, semakin besar rasio cakupan aspal akan mengindikasikan properti adhesi yang lebih baik terhadap campuran aspal.

### 2.3.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm) (Ashaplt Institue, 2001). Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci). Fungsi agregat kasar adalah memberikan stabilitas dan tahanan gesek campuran terhadap suatu aksi perpindahan. Stabilitas ditentukan oleh bentuk dan tekstur permukaan agregat kasar. Umumnya karakteristik morfologis agregat kasar dapat dilihat dari beberapa aspek yaitu bentuk, ukuran, *angularity*, dan tekstur permukaan (Guo, Zhao, Zhang, & Shang, 2016).

Menurut Wang (2016) dalam pemadatan campuran aspal, distribusi spasial dan efektivitas bidang kontak antara partikel agregat bergantung pada bentuk, *angularity*, dan tekstur permukaan agregat, terutama untuk agregat kasar. Temperatur yang tinggi mengakibatkan penurunan modulus dalam ikatan campuran aspal, sehingga diperlukan interlocking yang kuat pada agregat kasar, interlocking ini dipengaruhi dari sifat-sifat morfologi agregat. Tokyay dan Akcaoglu (2004) menyatakan bahwa ketidak-beraturan (*irregular*) bentuk pada agregat kasar menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan dalam campuran, sehingga secara perlahan campuran akan mengalami *microcracking* dan perubahan struktur akhirnya terjadi penurunan kinerja secara menyeluruh terhadap campuran tersebut.

### 2.3.3 Agregat Halus

Agregat halus adalah material yang lolos saringan no. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada saringan no.200 (0,075 mm), harus terdiri dari pasir atau hasil penyaringan batu pecah. Fungsi agregat halus adalah dalam *gap graded*, agregat halus pada #8 sampai dengan #30 dikurangi agar diperoleh rongga udara yang memadai untuk jumlah aspal tertentu. Keseimbangan proporsi penggunaan agregat kasar dan halus penting agar diperoleh permukaan yang tidak licin dengan jumlah kadar aspal yang diinginkan. Agregat halus pada umumnya digunakan untuk mengisi rongga dan menstabilkan agregat kasar dalam struktur perkerasan

serta memiliki pengaruh potensial terhadap kinerja perkerasan (Lin & Tongjing, 2018).

Xie (2017) menyebutkan dalam penelitiannya yang berjudul '*Evaluation of morphological characteristics of fine aggregate in asphalt Pavement*' Agregat terdiri dari partikel kasar ( $> 2$  mm) dan partikel halus ( $< 2$  mm), yang keduanya memiliki pengaruh yang sangat berbeda terhadap campuran aspal. Pada struktur internal, agregat kasar umumnya bertanggung jawab atas interlocking agregat, sehingga membentuk struktur granular yang meningkatkan stabilitas campuran aspal. Untuk memastikan integritas campuran aspal, agregat halus ditambahkan ke kerangka agregat kasar dan memberikan efek penting pada ketahanan geser campuran.

#### **2.3.4 Filler**

Agregat sangat halus (*filler*) adalah agregat yang lebih kecil dari  $75\ \mu\text{m}$  atau lolos saringan No.200 dengan persentase berat yang lolos minimal 75%. Fungsi *filler* adalah sebagai pengisi pada pembuatan campuran aspal. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga tahun 2010, proporsi filler adalah antara 1% sampai 2% terhadap berat total campuran beraspal. Bahan pengisi yang ditambah terdiri atas debu batu kapur (limestone dust), semen Portland, abu terbang, abu tanur semen atau bahan non plastis lainnya dari sumber yang disetujui oleh direksi pekerjaan. Bahan tersebut harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan, dan bila diuji dengan pengayakan sesuai dengan SNI 03-4142-1996 harus sesuai dengan persyaratan bahan pengisi untuk campuran beraspal (SNI 03-6723-2002), yaitu mengandung bahan yang lolos ayakan  $0,279\text{ mm}$  (No. 50) minimum 95% dan lolos ayakan  $0,075\text{ mm}$  (No. 200) minimum 70 % terhadap beratnya, serta mempunyai sifat non plastis.

#### **2.3.5 Aspal**

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Aspal akan mencair jika di panaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Aspal tersusun

terutama dari sebagian besar bitumen yang kesemuanya terdapat dalam bentuk padat atau setengah padat dari alam atau hasil pemurnian minyak bumi, atau merupakan campuran dari bahan bitumen dengan minyak bumi atau derivatnya (ASTM, 1994).

Bitumen (*The Asphalt Institute*, 1993) adalah suatu campuran dari senyawa hidrokarbon yang berasal dari alam atau dari suatu proses pemanasan, atau berasal dari kedua proses tersebut, kadang-kadang disertai dengan derivatnya yang bersifat non logam, yang dapat berbentuk gas, cairan, setengah padat atau padat, dan campuran tersebut dapat larut dalam Karbondisulfida (CS<sub>2</sub>). Aspal yang dipakai dalam konstruksi jalan mempunyai sifat fisis yang penting, antara lain : kepekatan (*consistency*), ketahanan lama atau ketahanan terhadap pelapukan oleh karena cuaca, derajat pengerasan, dan ketahanan terhadap air. Sukirman (1999) menyatakan bahwa aspal yang digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai:

- Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri;
- Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir-butir dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Aspal dapat dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya, yaitu :

- Aspal dengan penetrasi antara 40-50
- Aspal dengan penetrasi antara 60-70
- Aspal dengan penetrasi antara 80-100
- Aspal dengan penetrasi antara 120-150
- Aspal dengan penetrasi antara 200-300

Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedang aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah yang bercuaca dingin ataupun lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia pada umumnya digunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100

## 2.4 Perencanaan Campuran Aspal

Bukhari, dkk (2007 : 59) menyebutkan salah satu faktor yang menentukan mutu campuran aspal beton adalah perencanaan campuran. Perencanaan campuran terdiri atas: pemilihan tipe gradasi agregat dan jenis/kadar aspal. Perencanaan campuran beraspal bertujuan untuk mendapatkan campuran efektif dari gradasi agregat dan aspal. Campuran antara agregat dan aspal yang optimal akan menghasilkan lapisan perkerasan yang optimal pula. Roberts *et al.* (1996) menyebutkan salah satu tujuan mix design campuran beraspal adalah agar mencapai nilai ketahanan deformasi (*stability*) yang baik.

### 2.4.1 Gradasi Agregat

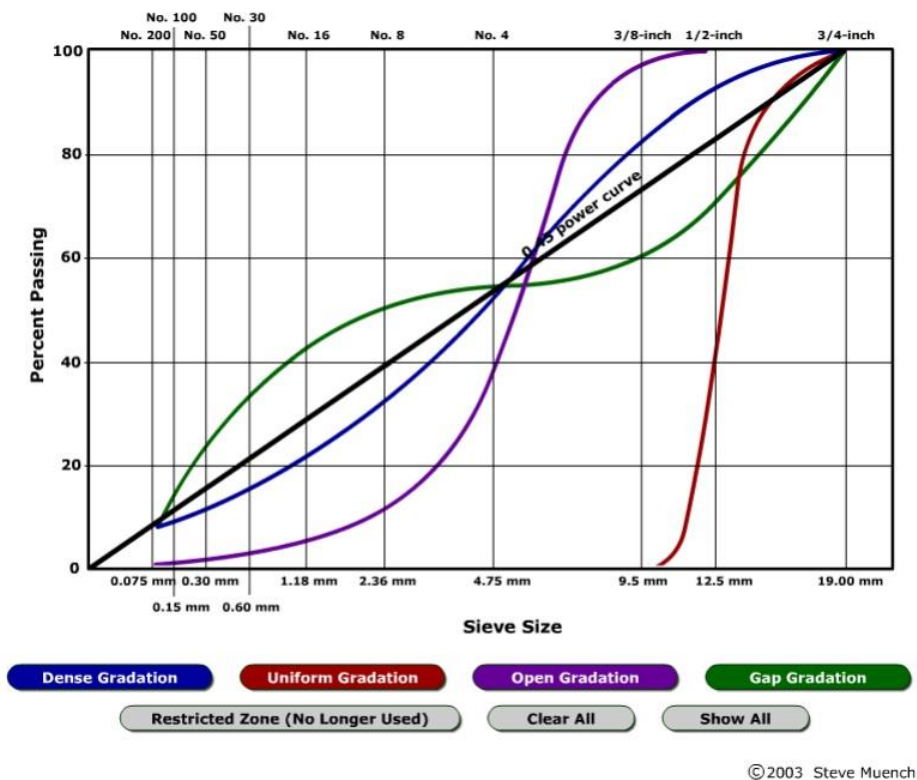
Gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel agregat berdasarkan ukurannya yang saling mengisi dan membentuk suatu ikatan saling mengunci (*interlocking*) sehingga dapat mempengaruhi stabilitas perkerasan (Sukirman, 1999 : 45). Gradasi agregat merupakan kondisi yang sangat besar pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Untuk kekakuan yang lebih baik dan deformasi campuran aspal pada suhu yang lebih tinggi, gradasi kasar dapat digunakan sebagai agregat kasar dalam campuran aspal (M. Afaf 2014).

Gradasi atau distribusi agregat dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk. Agregat bergradasi baik (*well graded*) adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata atau dengan kata lain mengandung porsi yang berimbang antara agregat kasar dan halus dalam campuran. Gradasi baik atau gradasi menerus atau gradasi rapat (*dense graded*) akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kedap air dan berat volume yang besar.

Agregat bergradasi terbuka (*open graded*) adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik (Sukirman, 2003). Salah satu penggunaan agregat bergradasi terbuka adalah pada lapisan perkerasan aspal porus (*porous asphalt*). Menurut (Australian Asphalt Pavement Association, 1997) Gradasi terbuka adalah campuran dengan konten kekosongan udara yang tinggi (lebih dari 20%) yang digunakan secara umum dalam lapisan tipis (biasanya 25 hingga 40 mm), walaupun memberikan peningkatan kecil



dalam kekuatan perkerasan, *open graded* tidak cocok pada kondisi permukaan cacat atau dalam situasi kuat geser tinggi. Penggunaan utamanya di daerah perkotaan, terutama pada tipe jalan arteri. Open graded dapat mendukung penggunaan untuk meningkatkan skid resistance dalam keadaan basah, mengurangi kebisingan akibat gesekan roda serta memberikan permukaan yang halus pada perkerasan. Agregat bergradasi senjang (*gap graded*) adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada sedikit sekali (Sukirman, 2003). Gambar 2.2 akan menampilkan distribusi dari masing masing tipe gradasi.



Gambar 2.2 Grafik Distribusi Masing-Masing Gradasi

Persyaratan gradasi agregat yang digunakan untuk campuran jalan raya berbeda dengan campuran untuk bandara. Persyaratan gradasi agregat untuk jalan ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan gradasi agregat untuk bandara ditunjukkan pada Tabel 2.2, :

Tabel 2.1 Spesifikasi Gradasi Agregat Terbuka BBA

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Lolos Saringan AC Modifikasi BBA
1" (25,4 mm)	-
3/4" (19,1 mm)	100
1/2" (12,7 mm)	80 – 100
3/8" (9,25 mm)	60 – 70
no. 4 (4,76 mm)	36 – 44
no. 10 (2,38 mm)	33 – 40
no. 80 (0,59 mm)	10 – 25
no. 200 (0,074 mm)	6 – 9

Sumber : BBA (Hakim, 2017)

Tabel 2.2 Spesifikasi Gradasi Agregat Untuk Bandara

Sieve Size	Percentage by Weight Passing Sieves		
	Gradation 1	Gradation 2	Gradation 3
1 inch (25 mm)	100	--	--
3/4 inch (19 mm)	76-98	100	--
1/2 inch (12 mm)	66-86	79-99	100
3/8 inch (9 mm)	57-77	68-88	79-99
No. 4 (4.75 mm)	40-60	48-68	58-78
No. 8 (2.36 mm)	26-46	33-53	39-59
No. 16 (1.18 mm)	17-37	20-40	26-46
No. 30 (0.600 mm)	11-27	14-30	19-35
No. 50 (0.300 mm)	7-19	9-21	12-24
No. 100 (0.150 mm)	6-16	6-16	7-17
No. 200 (0.075 mm)	3-6	3-6	3-6
<b>Asphalt percent:</b>			
Stone or gravel	4.5-7.0	5.0-7.5	5.5-8.0
Slag	5.0-7.5	6.5-9.5	7.0-10.5

Sumber : (FAA, 2014)

## 2.5 Geopolimer

Geopolimer merupakan material baru dari jenis polimer anorganik. Yang dimaksud anorganik adalah polimer tersebut terbentuk bukan dari alam melainkan buatan manusia. Geopolimer terbentuk karena ada reaksi secara geokimia dengan menggunakan bahan dasar mineral alumina silikat dan alkali.

Pada tahun 1978, Joseph Davidovits menemukan bahwa cairan alkali bisa digunakan untuk mereaksikan silikon (Si) dan alumunium (Al) untuk menghasilkan binder (Li, Ding, dan Zhan). Karena adanya reaksi kimia akibat adanya proses polimerisasi, (Davidovits, 2015) menciptakan "geopolimer" untuk membuat binder. Proses polimerisasi yang terjadi di dalam geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi antara alkali dengan mineral Si – Al sehingga menghasilkan rantai polimerik tiga – dimensi dan ikatan struktur Si – O – Al – O yang konsisten (Davidovits, 1999).

### **2.5.1 Penggunaan Geopolimer**

Sifat- sifat geopolimer sedang di eksplorasi di banyak bidang ilmiah dan industri seperti: kimia anorganik modern, kimia fisik, kimia koloid, mineralogi, geologi dan semua jenisteknologi rekayasa. Penggunaan geopolimer yang potensial seperti: bahan tahan api, semen dan beton, komposit berteknologi tinggi untuk interior pesawat, mobil dan arkeologi (Davidovits, 2008).

Aditama (2017) melakukan penelitian tentang filler geopolimer dalam campuran aspal, hasilnya penambahan filler geopolimer dari proporsi normal pada gradasi tengah dapat meningkatkan stabilitas perkerasan aspal beton, selain itu juga dapat meminimalkan rongga didalam campuran.

Geopolimer memiliki potensi aplikasi yang luas, baik dalam bentuk murni maupun dengan tambahan penguat (*reinforced*). Secara umum aplikasi tersebut terbagi atas dua kategori:

- Produk struktural seperti bahan penguat dalam manufaktur, pengganti semen dan beton.
- Teknologi immobilisasi (solidifikasi/ stabilitas) untuk bahan kimia beracun, limbah industri dan bahan sisa radioaktif.

### **2.5.2 Material Penyusun Geopolimer**

Pengaruh kehalusan, kemampuan kerja, pengembangan kekuatan dan pengeringan susut geopolimer di klasifikasikan menggunakan tiga bahan berbeda. Bahan tersebut adalah *fly ash* kasar (CFA), *fly ash* medium (MFA) dan *fly ash* halus (FFA).

*Fly ash* harus di aktifkan dengan natrium hidroksida dan sodium silikat. Semakin halus partikel *fly ash* menunjukkan waktu paling singkat pada pembentukan geopolimer. Kekuatan tekan, kelelahan dan pengeringan susut pada *fly ash* partikel halus menunjukkan karakteristik paling baik (Chindaprasirt 2011).

#### 1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

*Fly ash* yang digunakan adalah hasil dari pembakaran batu bara. *Fly ash* merupakan material pozzolan, yaitu mineral silikat dan alumina yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida dan membentuk senyawa semen. *Fly ash* yang di produksi dari pembakaran ada dua jenis:

- *Fly ash* kelas F, yaitu material pozzolanic mengandung silika gelas dan alumina yang apabila di campur air akan bereaksi dengan kalsium membentuk senyawa semen.
- *Fly ash* kelas C, yaitu material pozzolanic dan bersifat self-cementing (kemampuan untuk mengeras dan mencapai kekerasan) apabila dicampur dengan air.

*Fly ash* kelas F pada umumnya memiliki kandungan kalsium dan magnesium oksida yang lebih tinggi, kandungan silika, besi oksida dan karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan *fly ash* kelas C.

#### 2. Aktivator

Aktivator yang umum digunakan untuk membuat geopolimer adalah kombinasi antara Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat (Davidovits, 1999). Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

Molaritas aktivator NaOH sangat berpengaruh pada kuat mekanik binder maupun beton geopolimer, dimana semakin tinggi molaritas NaOH semakin tinggi kuat mekanik beton maupun binder geopolimer. Selain itu perbandingan rasio aktifator  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  juga memberi pengaruh terhadap beton maupun binder geopolimer. Namun semakin tinggi perbandingan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang tinggi (Ekaputri & Triwulan, 2013).

### 2.5.3 Proporsi Campuran Geopolimer

Karyawan, Ahyudanari, and Ekaputri (2017) melakukan penelitian mengenai penggunaan limbah batu bara sebagai geopolimer untuk pengganti *filler* dalam campuran aspal beton. Penelitian tersebut membandingkan karakteristik campuran aspal beton menggunakan *filler* abu batu, batu bara dan geopolimer. Untuk *filler* geopolimer tersusun atas *fly ash* batu bara dan aktivator yang dicampur menjadi satu sampai umur 28 hari. Aktivator yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dengan konsentrasi sebanyak 8M, 10M dan 14M dan komposisi *fly ash* dan alkali sebesar 75%:25%.

Dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa, campuran aspal beton menggunakan geopolimer memberikan stabilitas yang lebih baik daripada aspal beton tanpa geopolimer. Aspal beton geopolimer yang menggunakan aktivator dengan konsentrasi 8M menunjukkan nilai stabilitas paling tinggi. Tetapi penggunaan geopolimer menurunkan nilai flow dan memperbanyak rongga campuran. Oleh karena itu, pada penelitian ini campuran geopolimer yang akan digunakan adalah *fly ash* dan aktivator dengan konsentrasi 8M.

### 2.5.4 Sifat Fisik dan Mekanik Geopolimer

Beberapa sifat-sifat penting geopolimer baik fisik maupun mekanik disebutkan sebagai berikut (Subaer, 2012):

- a. Rapat massa dan porositas  
Rapat massa dan porositas berfungsi untuk mengevaluasi kualitas fisik geopolimer.
- b. Kekerasan vickers (*Vickers Hardness*)  
Kekersan vickers diukur untuk menguji resistensi material geopolimer terhadap deformasi plastik.
- c. Kekuatan tekan  
Kekuatan tekan geopolimer sangat bergantung pada porositas. Semakin banyak pori semakin kecil kekuatan tekan geopolimer.
- d. Kuat ikatan antar muka (*interfacial Bond Strength*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kuat ikatan antara agregat dengan matriks geopolimer. Besarnya kuat ikatan antar muka geopolimer disebabkan oleh besarnya porositas

## **2.6 Uji Marshall**

Ada beberapa metode untuk merencanakan suatu campuran yang baik, salah satunya adalah dengan uji Marshall. Menurut Sukirman (2003: 118), metode campuran yang paling banyak dipergunakan di Indonesia saat ini adalah metode rancangan campuran berdasarkan pengujian empiris, yaitu dengan menggunakan alat Marshall. Uji Marshall merupakan tahapan penting dalam penentuan karakteristik campuran beraspal. Karakteristik campuran beraspal yang merupakan parameter Marshall adalah kepadatan (density), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), stabilitas, kelelahan plastis (flow), Marshall Quotient dan durabilitas.

## **2.7 Penelitian Terdahulu Tentang Agregat Buatan**

Untuk mendukung penelitian tentang agregat buatan, berikut adalah beberapa referensi penelitian tentang agregat buatan :

- Sudrajat (2016) melakukan penelitian dengan judul “*Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Agregat Buatan untuk Bahan Perkerasan Jalan*” yang bertujuan untuk memanfaatkan potensi material fly ash dengan cara mengolahnya menjadi agregat buatan yang memiliki campuran dengan kinerja yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3 dalam nilai abrasi dan kekekalan agregat. Agregat buatan diolah menggunakan mesin granulator dengan komposisi *fly ash* dan aktivator sebesar 74%:24% dimana perbandingan massa alkali aktivatornya adalah 1:2,5.
- Karyawan, Ahyudanari dan Ekaputri (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “*Potential Use of Fly Ash Base-Geopolymer as Aggregate Substitution in Asphalt Concrete Mixtures*”, melakukan penelitian mengenai penggunaan *fly ash* sebagai bahan dasar pembuatan agregat buatan geopolimer untuk pengganti agregat alami dalam campuran aspal beton. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui potensi penggunaan

*fly ash* limbah sisa pembakaran batu bara untuk campuran pembuatan agregat buatan geopolimer. Untuk agregat geopolimer tersusun atas *fly ash* dan aktivator yang dicampur menjadi satu sampai umur 28 hari. Aktivator yang digunakan adalah sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dengan konsentrasi sebanyak 8M dan komposisi *fly ash* dan alkali sebesar 75%:25%.

- Ahyudanari, Ekaputri dan Tardas (2016) melakukan penelitian dengan judul '*Analysis of Coal Waste Solidification as an Alternative Filler Material in Asphalt Concrete Mixture*', didalam penelitiannya menunjukkan hasil bahwa nilai stabilitas dengan menggunakan filler geopolimer mengalami peningkatan



*‘Halaman ini sengaja dikosongkan’*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bagian ini akan disajikan proses dan tahapan-tahapan mulai dari persiapan bahan, pengujian sifat-sifat fisis bahan yang akan digunakan, analisis saringan agregat, pembuatan dan pengujian benda uji dan pada bagian akhir disajikan pengolahan dan analisis data.

#### **3.1 Material yang Digunakan**

Penelitian ini menggunakan material berupa aspal dan agregat. Aspal yang digunakan adalah aspal Pen. 60/70 produksi Pertamina. Agregat yang digunakan adalah agregat buatan geopilomer yang berasal dari fly ash dan dicampur dengan alkali aktivator berupa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$ .

#### **3.2 Peralatan yang Digunakan**

Peralatan yang digunakan adalah peralatan untuk pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal, pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat, dan pengujian Marshall. Untuk pengujian Marshall, peralatan yang digunakan adalah peralatan Marshall yang terdiri dari Marshall *test apparatus*, *mold* pemadat beserta pelat dasarnya, *flow* meter, *hammer* pemadat, serta bak perendam yang dilengkapi dengan pengatur suhu.

#### **3.3 Prosedur Penelitian**

Secara garis besar, prosedur penelitian ini terbagi atas beberapa tahap, yaitu pembuatan agregat buatan, pengujian sifat-sifat fisis agregat, pengujian sifat-sifat fisis aspal, perencanaan campuran beton aspal metode Marshall, pembuatan benda uji pengujian stabilitas dan *flow* dengan alat Marshall, dan perhitungan parameter Marshall lainnya dari benda uji.

##### **3.3.1 Pembuatan Agregat Buatan**

Pada proses pembuatan agregat buatan ini diperlukan bahan penyusun seperti fly ash dan alkali aktivator ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$ ). Komposisi alkali aktivator yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti data sekunder yang diambil dari

penelitian terdahulu yaitu 1 : 2,5 (Karyawan et al., 2017). Perbandingan fly ash dan alkali aktivator yang digunakan adalah 75% : 25%. Dalam penelitian ini agregat buatan yang digunakan terbagi menjadi 2 bentuk, yaitu :

- Agregat buatan berbentuk bulat, agregat ini dibuat melalui mesin granulator.
- Agregat buatan yang dihasilkan dari *stone crusher*, langkah awal dalam pembuatan agregat buatan ini adalah komposisi campuran yang telah disiapkan dimasukan kedalam cetakan kemudian diaduk dan ditunggu selama 28 hari agar mengeras. Setelah itu, agregat buatan dikeluarkan dari cetakan dan dimasukkan kedalam *stone crusher*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.1 (a) cetakan setengah bola, (b) fly ash (c) alkali aktivator

Tabel 3.1 dan 3.2 adalah perhitungan jumlah berat material yang dibutuhkan oleh benda uji campuran aspal beton *fly ash* geopolimer untuk pengujian *Marshall*, penggunaan agregat buatan pada penelitian ini hanya di lakukan pada agregat kasar

Tabel 3.1 Perhitungan kebutuhan agregat gradasi terbuka

Kebutuhan agregat buatan pada Gradasi terbuka/open graded												
No. Ayakan		batas bawah (%)	Batas Tengah (%)	Batas Atas (%)	Tertahan pd masing- masing saringan (%)		Rasio 100%	Rasio 25% : 25% : 50%			Rasio 25% : 75%	
in	mm				(%)	(gr)	AA (gr)	AB (gr)	ABSC (gr)	AA (gr)	AB (gr)	ABSC (gr)
3/4	19	100	100	100	0.0	0	-	-	-	-	-	-
1/2	12	79	89	99	11.0	132	132	33	33	66	33	99
3/8	9	68	78	88	11.0	132	132	33	33	66	33	99
No.4	4.75						-	-	-	-	-	-
No.8	2.36	33	43	53	35.0	420	420			420		
No.16	1.18	20	30	40	13.0	156	156			156		156
No. 30	0.6	14	22	30	8.0	96	96			96		96
No.50	0.3						-			-		-
No.100	0.15	6	11	16	11.0	132	132			132		132
No.200	0.075	3	4.5	6	6.5	78	78			78		78
Pan					4.5	54	54			54		54
Jumlah					100.0	1200	1,200	66	66	1,068	66	198

Tabel 3.2 Perhitungan kebutuhan agregat gradasi rapat

Kebutuhan agregat buatan pada Gradasi Rapat/ <i>dense graded</i>													
No. Ayakan		batas bawah (%)	Batas Tengah (%)	Batas Atas (%)	Tertahan pd masing- masing saringan (%)		Rasio 100%	Rasio 25% : 25% : 50%			Rasio 25% : 75%		
in	mm				(%)	(gr)	(gr)	AA (gr)	AB (gr)	ABSC (gr)	AA (gr)	AB (gr)	ABSC (gr)
3/4	19	100	100	100	0.0	0	-	-		-	-		-
1/2	12	79	89	99	11.0	132	132	33	33	66	33	99	
3/8	9	68	78	88	11.0	132	132	33	33	66	33	99	
No.4	4.75	48	58	68	20.0	240	240	60	60	120	60	180	
No.8	2.36	33	43	53	15.0	180	180			180			
No.16	1.18	20	30	40	13.0	156	156			156			156
No. 30	0.6	14	22	30	8.0	96	96			96			96
No.50	0.3	9	15	21	7.0	84	84			84			84
No.100	0.15	6	11	16	4.0	48	48			48			48
No.200	0.075	3	4.5	6	6.5	78	78			78			78
Pan					4.5	54	54			54			54
Jumlah					100.0	1200	1.200	126	126	948	126	378	516

Berdasarkan Tabel 3.1 dan 3.2 didapat kebutuhan agregat buatan dengan perhitungan sebagai berikut:

- Gradasi Rapat/*dense graded*

Variasi 1 (100% Agregat Alami (AA))

Agregat Alami (AA) : 1200gr x 21 benda uji = 25200gr = 25,2 kg

Variasi 2 (Agg Buatan Bulat 25% , Agg Buatan *Stone Crusher* 25%, AA 50%)

Agregat Alam (AA) : 948gr x 21 benda uji = 19908gr = 19,908kg

Agg Buatan Bulat (AB) : 126gr x 21 benda uji = 2646 gr = 2,646kg

Agg Buatan SC : 126gr x 21 benda uji = 2646 gr = 2,646kg

Variasi 3 ( Agg Buatan Bulat 25%, Agg Buatan *Stone Crusher* 75%)

Agregat Alam (AA) : 516 gr x 21 benda uji = 10836gr = 10,836kg

Agg Buatan Bulat (AB) : 126gr x 21 benda uji = 2646 gr = 2,646kg

Agg Buatan SC : 378gr x 21 benda uji = 7938 gr = 7,938kg

- Gradasi Terbuka/*open graded*

Variasi 1 (100% Agregat Alami (AA))

Agregat Alami (AA) : 1200gr x 21 benda uji = 25200gr = 25,2 kg

Variasi 2 (Agg Buatan Bulat 25% , Agg Buatan *Stone Crusher* 25%, AA 50%)

Agregat Alam (AA) : 1068gr x 21 benda uji = 22428gr = 22,428kg

Agg Buatan Bulat (AB) : 66gr x 21 benda uji = 1386 gr = 1,386kg

Agg Buatan SC : 66gr x 21 benda uji = 1386 gr = 1386kg

Variasi 3 ( Agg Buatan Bulat 25%, Agg Buatan *Stone Crusher* 75%)

Agregat Alam (AA) : 516 gr x 21 benda uji = 10836gr = 10,836kg  
 Agg Buatan Bulat (AB) : 66 gr x 21 benda uji = 1386 gr = 1,386kg  
 Agg Buatan SC : 198gr x 21 benda uji = 4158 gr = 4,158kg

- Total Kebutuhan

Agregat Alami (AA) = 114,408 kg  
 Agregat Buatan (AB) = 8,064 kg  
 Agregat Buatan Stone Crusher = 16,128 kg

### 3.3.2 Pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat

Pengujian sifat-sifat fisis agregat meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, pelapukan, abrasi agregat dengan mesin Los Angeles, kelekatan agregat terhadap aspal, serta indeks kepipihan dan kelonjongan agregat. Persyaratan spesifikasi agregat kasar dan halus menurut Bina Marga ditunjukkan dalam Tabel 3.3 dan 3.4 :

Tabel 3.3 Spesifikasi Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC bergradasi kasar	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 03-2439-1991	Min. 95%
Angularitas (Kedalaman dari permukaan < 10 cm)		DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No. 621	95/90 <sup>1</sup>
Angularitas (Kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)			80/75 <sup>1</sup>
Partikel Pipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1 : 5	Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200		SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

(Bina Marga, 2010)

Tabel 3.4 Spesifikasi Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus Min. 70% untuk AC bergradasi Kasar
Material Lolos Ayakan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423:2008	Maks. 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	AASHTO TP-33 atau ASTM C1252-93	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan $\geq$ 10 cm)		Min. 40

(Bina Marga, 2010)

1. Berat jenis dan penyerapan agregat

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (*bulk specific gravity*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry specific gravity*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dan penyerapan (*absorption*). Pemeriksaan ini berpedoman pada ketentuan AASHTO T-85-74. Benda uji yang digunakan adalah agregat yang lolos 19,0 mm dan tertahan saringan no.4 dan telah dicuci sehingga bersih kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Agregat dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang selama 1-3 jam, kemudian ditimbang (Bk), kemudian agregat tersebut direndam selama 24 jam, selanjutnya agregat dimasukkan kedalam keranjang kawat dan direndam sambil digoncang-goncangkan batu-batunya tujuannya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan setelah itu ditimbang beratnya (Ba). Agregat dikeluarkan dilap dengan kain sampai selaput air pada permukaan hilang sehingga agregat kering permukaan jenuh (SSD) dan ditimbang (Bj).

2. Keausan agregat (*abrasion*)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan dengan menggunakan mesin Los Angeles. Pemeriksaan ini berpedoman pada ketentuan AASHTO T-96-74. Cara pengerjaan pemeriksaan ini pada mulanya agregat disiapkan terlebih dahulu sebanyak 5000 gram dengan ketentuan lolos saringan 19,0 mm dan tertahan di atas saringan 9,5 mm sebanyak 2500 gram serta lolos saringan 9,5 mm dan tertahan di atas saringan 4,75 mm

sebanyak 2500 gram. Agregat dibersihkan dan dikeringkan dalam oven sampai berat tetap pada suhu 110°C, setelah agregat mempunyai berat tetap maka agregat dikeluarkan dari oven dan didiamkan pada suhu ruang. Kemudian agregat ditimbang sebanyak 5000 gram lalu dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles berikut bola baja sebanyak 11 buah, kemudian alat dihidupkan dengan kecepatan 30 rpm dengan jumlah putaran 500 kali. Selanjutnya agregat dikeluarkan dan kemudian disaring dengan saringan No. 12. setelah itu agregat dicuci sampai bersih untuk kemudian dioven sampai berat tetap. Setelah berat tetap agregat ditimbang.

3. Kelekatan terhadap aspal (*affinity for asphalt*)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan persentase luas permukaan aspal yang diselimuti agregat terhadap seluruh permukaan agregat. Benda uji pada pengujian kelekatan agregat terhadap aspal adalah agregat yang lolos saringan 12,5 mm (1/2") dan tertahan saringan 9,5 mm (3/8") sebanyak 100 gram. Agregat dicuci dengan air suling dan dikeringkan beserta wadah pada suhu 140 °C hingga berat tetap.

4. Indeks kepipihan dan kelongjongan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui persentase jumlah butir pipih dan butir lonjong yang terdapat dalam suatu benda uji dibandingkan berat totalnya. Pemeriksaan ini dilakukan dengan berpedoman pada ketentuan AASHTO T-27-74.

Peralatan yang digunakan adalah *Elongation gauge* dan *Flakiness gauge*. Untuk menentukan indeks kepipihan, agregat yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan 19,0 mm dan tertahan saringan 16 mm sebanyak 300 gr. Agregat kemudian dimasukkan kedalam alat *Elongation gauge* satu persatu, agregat yang lolos dari ukuran alat tersebut lalu ditimbang.

5. Pemeriksaan tumbukan (*impact*)

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan agregat melalui tumbukan dengan menggunakan alat impact. Agregat yang digunakan adalah agregat lolos saringan 12,5 mm dan tertahan saringan 9,5 mm sebanyak 1000 gram untuk satu benda uji. Agregat tersebut dibersihkan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 1100 C sampai mencapai berta tetap, kemudian didinginkan pada

suhu ruang. Setelah itu benda uji dimasukkan ke dalam mold tempat penumbukan dengan diameter 4” dan tinggi 3” dan permukaannya diratakan kemudian timbang beratnya. Penumbukan dilakukan sebanyak 15 kali dengan tinggi jatuh 15,15 inci (40 cm), kemudian benda uji ditimbang kembali dengan menggunakan saringan No. 8 (2,36 mm) dan agregat yang lolos ditimbang beratnya dengan air suling dan dikeringkan beserta wadah pada suhu 140 °C hingga berat tetap.

### **3.3.3 Pemeriksaan Bahan Pengisi (*Filler*)**

Bahan pengisi harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan. Pengujian bahan pengisi meliputi Analisa saringan atau pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) yaitu banyaknya bahan yang lolos saringan tersebut sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih.

Tujuan metode ini adalah untuk memperoleh persentase jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm), sehingga berguna bagi perencanaan dan pelaksana pembangunan jalan.

Terdapat beberapa parameter pengujian dalam pemeriksaan *filler*, yaitu:

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus. (SNI 15-2351-1991)
2. Pengujian analisis saringan agregat halus. (SNI 03-1968-1990)

### **3.3.4 Pemeriksaan Aspal**

Bahan aspal harus diekstraksi dari benda uji sesuai cara SNI 03-6894-2002. Setelah konsentrasi larutan aspal yang terekstraksi mencapai 200mm, partikel mineral yang terkandung harus dipindahkan ke dalam sentrifugal. Pemindahan ini dianggap memenuhi bilamana kadar abu dalam bahan aspal yang diperoleh kembali tidak melebihi 1 % (dengan pengapian). Bahan aspal harus diperoleh kembali dari larutan sesuai dengan prosedur SNI 03-4797-1988. Terdapat beberapa langkah pemeriksaan aspal, secara lebih detail dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengujian Penetrasi (SNI 06 – 2456 – 1991)

Pengujian penetrasi aspal, untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras



atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, beban dan waktu tertentu ke dalam bitumen pada suhu tertentu.

2. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal (SNI-06-2433-1991)

Pengertian titik nyala adalah suhu dimana pada saat terlihat nyala singkat kurang dari 5 detik pada suatu titik di atas permukaan aspal. Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui temperatur dimana aspal dapat dipanaskan dengan aman yaitu tanpa adanya bahaya peletupan atau kebakaran yang tiba-tiba akibat adanya nyala api terbuka dan untuk mengetahui sifat bahan terhadap bahaya api, pada suhu berapa bahan tersebut akan terbakar. Apabila aspal dipanaskan sampai melebihi titik bakarnya, maka aspal akan mudah terbakar sehingga dianjurkan tidak memanaskan aspal diatas titik nyala. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan Cleveland Open Cup.

3. Pengujian kehilangan berat aspal (SNI 06-2440-1991)

Pengujian ini dimaksudkan sebagai acuan dan penanganan dalam pelaksanaan pengujian kehilangan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu. Tujuan pengujian ini adalah menentukan kehilangan berat minyak dan aspal, yang dinyatakan dengan persen dan berat semula.

4. Pengujian Daktilitas (*ductility test*) (SNI-06-2432-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan elastisitas aspal. Tujuan dari tes ini adalah untuk mengetahui jarak terpanjang (elastisitas) aspal yang ditarik antara dua cetakan yang berisi *bitument* keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

5. Pengujian Berat Jenis Aspal (SNI 06-2441-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis aspal dan korelasi perhitungan berat terhadap volume atau sebaliknya.

6. Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter (SNI 06-2434-1991)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30 °C sampai 200 °C dengan menggunakan *ring and ball*. Yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada saat bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun suatu lapisan aspal atau ter yang tertahan dalam cicin yang berukuran tertentu, sehingga aspal atau ter tersebut menyentuh plat dasar yang terletak pada cicin pada tinggi tertentu, sebagai akibat kecepatan pemanasan

tertentu.

Persyaratan aspal penetrasi 60/70 yang digunakan untuk campuran aspal seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.5 :

Tabel 3.5 Spesifikasi Aspal Keras Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen 60-70
1	Penetrasi pada 25°C (dmm)	SNI 06-2456-1991	60 - 70
2	Viskositas 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	385
3	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥ 48
4	Indeks Penetrasi <sup>4)</sup>	-	≥ -1,0
5	Duktilitas pada 25°C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥ 232
7	Kelarutan dalam Toluene (%)	ASTM D5546	≥ 99
8	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥ 1,0
9	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	
<b>Pengujian residu hasil TFOT atau RTFOT</b>			
10	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0.8
11	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54
12	Indeks Penetrasi <sup>4)</sup>		≥ -1,0
13	Keelastisan setelah Pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-
14	Duktilitas pada 25°C (cm)	SNI 062432-1991	≥ 100

(Bina Marga, 2010)

### 3.3.5 Perencanaan Campuran Aspal Beton

#### a. Pemilihan gradasi agregat

Setelah melakukan pengujian terhadap material yang akan digunakan, maka selanjutnya dilakukan penyiapan campuran agregat sesuai dengan persyaratan gradasi. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini tidak dapat langsung digunakan karena gradasi alam belum tentu sesuai dengan gradasi yang digunakan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap campuran agregat buatan dengan 2 jenis gradasi yaitu gradasi rapat dan gradasi terbuka. Gradasi agregat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.6 :

Tabel 3.6 Gradasi agregat yang digunakan dalam penelitian

No. Ayakan		Gradasi rapat/ <i>dense graded</i>					Gradasi Terbuka/ <i>open graded</i>				
		batas bawah (%)	Batas Tengah (%)	Batas Atas (%)	Tertahan pd masing-masing saringan (%)		batas bawah (%)	Batas Tengah (%)	Batas Atas (%)	Tertahan pd masing-masing saringan (%)	
					(%)	(gr)				(%)	(gr)
In	Mm										
¾	19	100	100	100	0.0	0	100	100	100	0.0	0
½	12	79	89	99	11.0	132	79	89	99	11.0	132
3/8	9	68	78	88	11.0	132	68	78	88	11.0	132
No.4	4.75	48	58	68	20.0	240					
No. 8	2.36	33	43	53	15.0	180	33	43	53	35.0	420
No. 16	1.18	20	30	40	13.0	156	20	30	40	13.0	156
No.30	0.6	14	22	30	8.0	96	14	22	30	8.0	96
No. 50	0.3	9	15	21	7.0	84					
No.100	0.15	6	11	16	4.0	48	6	11	16	11.0	132
No.200	0.075	3	4.5	6	6.5	78	3	4.5	6	6.5	78
Pan					4.5	54				4.5	54
Jumlah					100.0	1200				100.0	1200

b. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Variasi kadar aspal ditentukan berdasarkan pada kadar aspal awal perkiraan yang merupakan kadar aspal tengah/ideal. Kadar aspal tengah dihitung berdasarkan persamaan :

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{Konstanta} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$P_b$  = kadar aspal perkiraan, persen terhadap berat campuran;

CA = persen agregat tertahan saringan No. 8;

FA = agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200;

Filler = agregat minimal 75% lolos saringan No. 200;

Nilai konstanta sekitar 0,5 – 1,0 untuk AC

Kadar aspal tengah yang diperoleh dari rumus tersebut dibulatkan mendekati angka 0,5% terdekat. Variasi yang digunakan sebanyak 5 variasi kadar aspal yang masing-masing berbeda 0,5%. Variasi kadar aspal yang dipilih sedemikian rupa, sehingga dua kadar aspal kurang dari nilai kadar aspal tengah, dan dua kadar aspal lainnya lebih besar dari nilai kadar aspal tengah. Jika kadar aspal

tengah/ideal adalah  $a\%$ , maka variasi kadar aspal adalah  $(a - 1)\%$ ,  $(a - 0,5)\%$ ,  $a\%$ ,  $(a + 0,5)\%$ , dan  $(a + 1)\%$ .

### 3.3.6 Pembuatan Campuran Aspal Beton

Setelah agregat buatan telah siap digunakan, maka selanjutnya adalah membuat benda uji campuran aspal beton geopolimer. Tahapan pembuatan aspal geopolimer sebagai berikut:

1. Menyiapkan material berupa agregat kasar, agregat buatan, *filler*, dan aspal penetrasi 60/70.
2. Menyaring agregat sesuai kebutuhan dan menempatkannya pada wadah sesuai ukuran butir masing-masing.
3. Menimbang agregat yang telah di saring sesuai proporsi di *job mix formula* (JMF), kemudian memasukkan agregat dalam kantong plastik.
4. Menyiapkan peralatan penggorengan dan pencampur aspal beton, seperti kompor, wajan, pengaduk, pengatur suhu, dll.
5. Menyalakan kompor, kemudian memasukkan agregat di kantong plastik dalam wajan. Agregat tersebut di panaskan sampai suhu  $130^{\circ}\text{C}$ .
6. Memanaskan aspal padat sampai mencair pada suhu  $140^{\circ}\text{C}$  -  $165^{\circ}\text{C}$ .
7. Memasukkan aspal cair dalam wajan yang telah berisi agregat seseuai kebutuhan.
8. Agregat dan aspal dalam wajan diaduk sampai keduanya tercampur menjadi satu dan merata. Suhu pencampuran antara  $120^{\circ}\text{C}$  –  $150^{\circ}\text{C}$ .
9. Menyiapkan peralatan pemadatan, seperti compactor, cetok, spatula, dll
10. Memasukkan campuran agregat dan aspal di wajan pada cetakan berbentuk silinder kemudian di rojok sebanyak 25 kali.
11. Menaruh cetakan yang telah berisi campuran pada alat pemadat. Kemudian campuran di tumbuk sebanyak 2 x 75 kali pada bagian atas dan bawah, suhu pemadatan  $95^{\circ}\text{C}$  –  $150^{\circ}\text{C}$ .
12. Mengeluarkan cetakan berisi campuran yang telah padat dari alat pemadat dan mendinginkannya beberapa saat.

13. Campuran yang telah padat selanjutnya dikeluarkan dari cetakan menggunakan *extruder* dan benda uji aspal beton siap untuk dilakukan pengujian selanjutnya.

### 3.3.7 Pengujian Campuran Beraspal

#### a. Pengujian Marshall

Pemeriksaan terhadap campuran dilakukan dengan *Marshall Test* yang bertujuan untuk menentukan ketahanan (*stability*) dan kelelahan (*flow*) dari campuran aspal dan agregat dan menentukan kadar aspal optimum untuk pengujian selanjutnya. Ketentuan mengenai sifat-sifat dari campuran Laston (AC) untuk jalan raya dan bandara dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan 3.8 :

Tabel 3.7 Persyaratan Campuran Lapis Aspal Beton

Sifat-Sifat Campuran		Laston (AC)		
		WC	BC	Base
Penyerapan Aspal (%)	Maks	1,2		
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,5		
	Maks	5		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800
	Maks	-		-
Pelelehan (mm)	Min	3		4,5
Marshall <i>Quotient</i> (kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ° C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal ( <i>refusal</i> )	Min	2		

(Bina Marga, 2010)

Tabel 3.8 Persyaratan Campuran Lapis Aspal Beton untuk Bandara

Properties pengujian	Desain perkerasan untuk berat pesawat ( <i>gross weights</i> ) ≥60.000 Lbs (≥27216 kg) dan <i>Tire pressures</i> ≥100 psi
Jumlah Tumbukan	75
Stabilitas, pounds (Newtons) minimum	2150 (9560)
Flow	10-16
Target air voids	3.5
VMA	15%

(Sumber: FAA, 2014)

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (=5000 lbf) dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Metode yang digunakan untuk pembuatan aspal beton geopolimer akan mengikuti tahapan pelaksanaan metode Marshall (SNI-06-2489-1991 atau AASTHO T 245-90, atau ASTM D 1559-76). Benda uji yang digunakan adalah benda uji standar berbentuk tabung dengan diameter 101,6 mm (4 inch) dan tinggi 63,5 mm (2,5 inch). Pemadatan untuk uji *Marshall* dilakukan dengan penumbukan sebanyak 75 kali per bidang dengan menggunakan penumbuk.

Setelah benda uji dipadatkan, kemudian disimpan pada suhu ruang selama 24 jam, selanjutnya benda uji ditimbang di udara, di dalam air dan dalam kondisi kering-permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry, SSD*) untuk mendapatkan berat jenis *bulk* (*Bulk Specific Gravity*). Selanjutnya direndam pada temperatur 60°C selama 30 menit dan siap untuk pengujian stabilitas dan *flow*.

Stabilitas benda uji adalah kemampuan maksimum benda uji yang dihasilkan pada suhu 60° dan diuji dengan alat tertentu. Nilai *flow* adalah pergerakan total atau regangan yang terjadi dalam benda uji antara kondisi tanpa beban dan beban maksimum selama pengujian stabilitas (*Asphalt Institute, 1993*). Kebutuhan benda uji campuran aspal beton akan diuraikan pada Tabel 3.9 :

Tabel 3.9 Kebutuhan benda uji untuk pengujian *Marshall*

Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji	
	Gradasi Rapat	Gradasi Terbuka
Pb – 1,0	3	3
Pb – 0,5	3	3
Pb	3	3
Pb + 0,5	3	3
Pb + 1	3	3
Jumlah Benda Uji Masing-masing Campuran (ada 3 variasi)	15x3=45	15x3=45
Total Benda Uji	90	

b. Pengujian Perendaman (Durabilitas)

Pengujian perendaman *Marshall* ini dilakukan untuk melihat ketahanan campuran terhadap pengaruh kerusakan oleh air. Air pada campuran beraspal dapat

mengakibatkan berkurangnya daya lekat aspal terhadap agregat, sehingga dapat melemahkan ikatan antar agregat. Hasil yang berbeda pada masing-masing jenis campuran akan sifat stabilitas Marshall dapat dibaca pada indeks stabilitas sisa dimana stabilitas sebelum direndam dibandingkan dengan stabilitas yang direndam selama 24 jam.

Pengujian tersebut adalah uji durabilitas standar yang dilakukan di dalam *waterbath* dengan kondisi temperatur  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ . Sebenarnya kondisi seluruh benda uji baik yang kering maupun basah tetap direndam dalam *waterbath*. Hanya saja benda uji yang kering hanya direndam selama  $30 \pm 1$  menit untuk memastikan benda uji tersebut dalam keadaan hampa udara, sedangkan benda uji basah direndam selama  $24 \pm 1$  jam agar benar-benar dalam kondisi jenuh air dan panas seperti kondisi di lapangan.

Uji perendaman terdiri dari 3 sampel yang direndam pada bak perendaman untuk semua sampel kadar aspal optimum. Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian Marshall perendaman di dalam air pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Kebutuhan benda uji campuran aspal beton pada kadar aspal optimum akan diuraikan pada Tabel 3.10:

Tabel 3.10 Kebutuhan benda uji untuk pengujian perendaman

Pengujian	Jumlah Benda Uji	
	Gradasi Rapat	Gradasi Terbuka
Direndam air suhu $60^\circ\text{C}$ selama 24 jam	$3 \times 3 = 9$	$3 \times 3 = 9$
Marshall KAO	$3 \times 3 = 9$	$3 \times 3 = 9$
Total Benda Uji	36	

Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (IRS), dan dihitung sebagai berikut :

$$IRS = (MS_i/MS_s) \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

IRS : Indeks Kekuatan Sisa (*Index of Retained Strength*) (%).

MSi: Stabilitas *Marshall* setelah perendaman 24 jam pada suhu  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  (kg)

MSs: Stabilitas *Marshall* standar perendaman selama  $30 \pm 1$  menit suhu  $60^\circ\text{C}$ , (kg).

Berikut adalah tabel jumlah total benda uji yang akan dibuat pada Tabel 3.11 :

Tabel 3.11 Rekapitulasi perhitungan kebutuhan benda uji

No	Uraian	Jumlah
1	Benda uji untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO)	90 buah
2	Benda Uji Untuk Uji Marshall KAO + Perendaman	36 buah
Jumlah Total		126 buah

### 3.3.8 Analisis Data

Setelah dilakukan pengujian terhadap benda uji di laboratorium, maka data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel hasil pengujian, tabel hasil perhitungan dan grafik. Pada benda uji dilakukan pengujian dengan metode Marshall. Dari hasil pengujian ini diperoleh data stabilitas dan *flow*, sedangkan nilai volumetric campuran didapatkan dari data berat kemudian digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

- Kepadatan (*density*)

Kepadatan merupakan perbandingan antara berat kering benda uji dengan berat air pada volume yang sama. Kepadatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$i = \frac{e}{(f - g)} \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan:

$i$  = *density* (gr/cm<sup>3</sup>);

$e$  = berat kering (gr);

$f$  = berat dalam kering keadaan jenuh permukaan (gr);

$g$  = berat dalam air (gr);

$(f - g)$  = volume bulk (cm<sup>3</sup>).



- Rongga dalam campuran (*void in mix*)

Rongga dalam campuran atau *void in mix* (VIM) adalah bagian ruang kosong dari seluruh campuran yang merupakan perbandingan volume ruang udara dengan volume sampel yang dipadatkan dan dinyatakan dalam persen. Sukirman (2003) menyatakan banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. Rongga dalam campuran dinyatakan dalam persen terhadap volume beton aspal padat, dapat dihitung dengan persamaan:

$$k = 100 - 100 (i / j) \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan:

k = persen rongga (%);

i = berat volume atau density (gr/cm<sup>3</sup>);

j = berat jenis teoritis.

$$j = \frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{B_j \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{B_j \text{ Aspal}} + \frac{\% \text{ Filler}}{B_j \text{ Filler}}} \dots\dots\dots (3.5)$$

- Rongga dalam mineral agregat (*void in mineral aggregate*)

Rongga didalam mineral agregat atau rongga antara butiran agregat adalah volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat suatu campuran perkerasan yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji. Perhitungan nilai rongga antar butir agregat (VMA) terhadap campuran dihitung dengan persamaan:

$$l = 100 - \left\{ \frac{(100-b) \times i}{B_j \cdot \text{agregat}} \right\}; \dots\dots\dots (3.6)$$

Keterangan:

l = rongga di dalam mineral agregat (VMA);

b = persen aspal terhadap campuran;

i = berat volume benda uji (gr/cm<sup>3</sup>).

- Rongga terisi aspal (*void filled by asphalt*)

Rongga terisi aspal atau *void filled by asphalt* (VFA) adalah merupakan perbandingan antara rongga-rongga yang terisi aspal dengan volume benda uji. Sukirman (2003) menyebutkan persentase pori antara butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFA. Jadi VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Aspal yang mengisi pori-pori berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, atau dengan kata lain VFA merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal.

Besarnya nilai rongga terisi aspal dapat dihitung dengan persamaan:

$$VFA = \frac{100 \times (VMA - Va)}{VMA} \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan:

VFA = rongga terisi aspal, persen VMA;

VMA = rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk;

Va atau VIM = rongga di dalam campuran, persen total campuran

- Stabilitas (*stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, ataupun *bleeding* (Sukirman, 2003). Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan dial stabilitas Marshall dan kemudian harus dikalikan dengan kalibrasi alat dan faktor koreksi benda uji. Besarnya nilai stabilitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$S = n \times f_a \times f_b \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan:

S = Stabilitas (kg);

n = pembacaan dial stabilitas;

f<sub>a</sub> = faktor kalibrasi alat;

f<sub>b</sub> = faktor koreksi benda uji.

- Kelelehan plastis (*flow*)

Kelelehan plastis ialah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh. Nilai kelelehan plastis dapat langsung dibaca pada dial *flow* dan dinyatakan dalam satuan milimeter atau 0,1 *inchi*.

- Marshall *quotient* (MQ)

Marshall *quotient* adalah perbandingan nilai stabilitas dan *flow*. Nilai stabilitas Marshall yang tinggi dan *flow* yang rendah menunjukkan campuran aspal beton yang kaku, sehingga bila menerima beban mudah retak. Besarnya nilai Marshall *quotient* dapat diperoleh dengan persamaan:

$$MQ = \frac{S}{flow} \dots\dots\dots (3.9)$$

Keterangan:

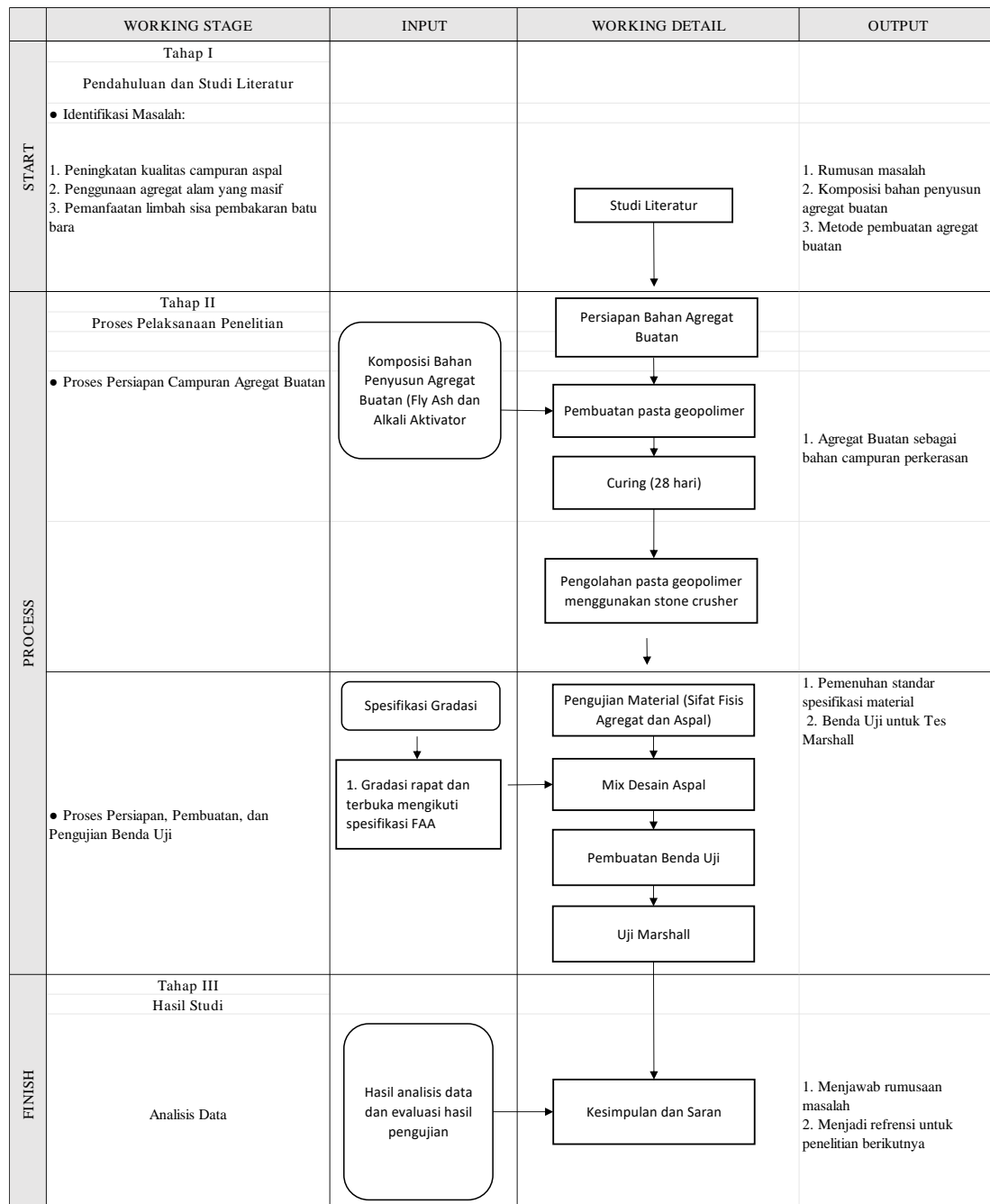
MQ = nilai Marshall quotient (kg/mm);

S = nilai stabilitas Marshall (kg);

Flow = pembacaan dial *flow* (mm).

### 3.4 Tahapan Penelitian

Untuk memudahkan dalam penyelesaian penelitian ini maka akan dibuat tahapan penelitian, Gambar 3.2 memperlihatkan tahapan-tahapan pada penelitian ini.



(Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian)

*‘Halaman ini sengaja dikosongkan’*

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pemeriksaan Bahan**

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap material yang digunakan sebagai agregat dan aspal untuk campuran perkerasan jalan. Pemeriksaan bahan dilakukan di Laboratorium Perhubungan dan Bahan Perkerasan Jalan ITS, Surabaya. Pengujian terhadap material yang digunakan sebagai material untuk campuran beraspal antara lain agregat kasar, agregat halus, agregat buatan, bahan pengisi (*filler*), serta aspal pen 60/70. Standar Pengujian didasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 yang dilengkapi dengan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), dan *American Society for Testing Materials* (ASTM).

Hasil pengujian material dibagi dalam dua bagian, yaitu hasil pengujian karakteristik agregat yang terdiri dari agregat alami dan agregat buatan dan hasil pengujian karakteristik aspal.

##### **4.1.1 Pemeriksaan Bahan Agregat**

Agregat kasar, agregat halus dan *filler* didapatkan di Laboratorium Perhubungan dan Bahan Perkerasan Jalan ITS, Surabaya. Sedangkan bahan material agregat buatan (*fly ash*) berasal dari limbah sisa pembakaran batubara Paiton Power Station, Probolinggo, Jawa Timur.

Hasil dari pengujian akan dibandingkan dengan spesifikasi Bina Marga sehingga dapat ditentukan apakah bahan-bahan tersebut sudah sesuai spesifikasi dan bisa digunakan untuk campuran aspal dan dilanjutkan dengan pengujian *Marshall* dan Perendaman (*Immersion Test*).

Pemeriksaan bahan dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari material yang digunakan untuk mengetahui apakah material memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam spesifikasi. Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian karakteristik agregat

No	Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
<b>A. Agregat Kasar</b>			
1	Berat Jenis Bulk, gr/cm <sup>3</sup>	-	2.542
2	Penyerapan Air, %	maks. 3	2.349
4	Abrasi dengan Mesin Los Angeles, %	maks. 40	30.8
5	Kelekatan agregat terhadap aspal, %	min. 95	98
<b>B. Agregat Halus</b>			
1	Berat Jenis Bulk, gr/cm <sup>3</sup>	-	3
2	Penyerapan Air, %	maks. 3	2.965
<b>C. Filler</b>			
1	Berat jenis, gr/cm <sup>3</sup>	-	2.614
<b>D. Agregat Buatan Bulat (AB)</b>			
1	Berat Jenis Bulk, gr/cm <sup>3</sup>	-	1.85
2	Penyerapan Air, %	maks. 3	6.08
3	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Magnesium Sulfat, %	maks. 18	5.219
4	Abrasi dengan Mesin Los Angeles, %	maks. 40	22.78
5	Kelekatan agregat terhadap aspal, %	min. 95	97
<b>D. Agregat Buatan Stone Crusher (ABSC)</b>			
1	Berat Jenis Bulk, gr/cm <sup>3</sup>	-	1.963
2	Penyerapan Air, %	maks. 3	5.840
3	Abrasi dengan Mesin Los Angeles, %	maks. 40	24.03
4	Kelekatan agregat terhadap aspal, %	min. 95	96
5	Impact %	Maks 30	14.11

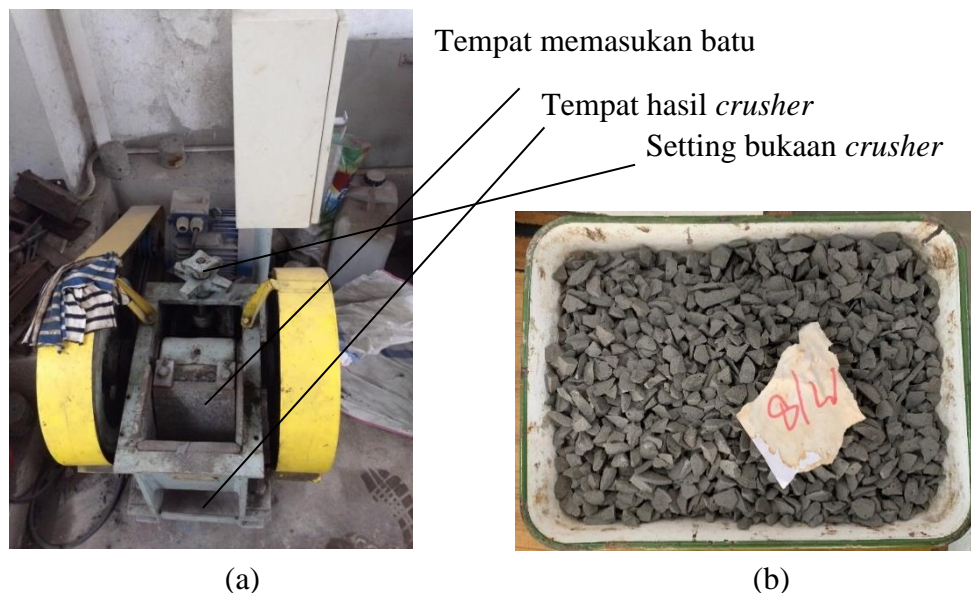
Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat persyaratan yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 tentang spesifikasi agregat. Untuk hasil pengujian dan perhitungan pemeriksaan agregat dapat dilihat pada Lampiran A.1. Pada pemeriksaan agregat kasar, agregat halus, dan filler, nilai hasil pengujian yang didapatkan telah memenuhi standar spesifikasi yang ditetapkan. untuk persyaratan agregat buatan digunakan spesifikasi yang sama dengan agregat kasar dikarenakan pada penelitian ini agregat buatan yang digunakan adalah agregat

buatan dengan fraksi kasar. Hal ini dilakukan untuk menjadi alternatif pengurangan pemakaian agregat alam pada campuran perkerasan aspal.

Setelah dilakukan pemeriksaan pada agregat buatan, didapatkan hasil pada pengujian berat jenis dan penyerapan air tidak memenuhi nilai persyaratan. Walaupun terdapat nilai yang belum memenuhi standar pada pemeriksaan agregat buatan, komposisi agregat buatan yang digunakan pada penelitian ini merupakan komposisi terbaik dari campuran agregat buatan yang telah diteliti sebelumnya dan memiliki nilai parameter pengujian lainnya yang memenuhi nilai standar spesifikasi yang ditentukan.

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa agregat alam yang digunakan telah memenuhi spesifikasi karakteristik agregat yang telah ditentukan sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran perkerasan jalan

Hasil dari pengujian karakteristik agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi yang digunakan dalam campuran seperti terlihat pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa agregat yang digunakan telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.



Gambar 4.1 (a) Pemecah Batu (Stone Crusher) (b) Agregat Buatan Stone Crusher (ABSC)



### 1. Berat jenis dan penyerapan air

Pengujian berat jenis ini dilakukan pada tiap fraksi agregat yaitu agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Dari pengujian ini juga diperoleh nilai penyerapan yang menunjukkan banyaknya pori dalam agregat. Pori dibutuhkan untuk menyerap aspal sehingga terbentuk ikatan antar aspal dan butiran agregat. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan tercantum dalam Tabel 4.1. Perbedaan berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar dan halus adalah 0,015. Nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 yang mensyaratkan perbedaan berat jenis agregat kasar dan halus tidak boleh lebih dari 0,2. Sedangkan uji penyerapan air agregat yang diperoleh adalah sebesar 2.349% untuk agregat kasar dan 2.965% untuk agregat halus. Nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 untuk penyerapan air oleh agregat sebesar maksimum 3%. Sedangkan pada agregat buatan fraksi kasar, dari hasil pengujian didapatkan berat jenis agregat buatan bulat sebesar 1,85 gr/cm<sup>3</sup> dan penyerapan air sebesar 6,08% sedangkan untuk agregat buatan stone crusher berat jenisnya sebesar 1,963% serta penyerapan air adalah 5,84%.

### 2. Keausan agregat dengan alat Abrasi Los Angeles

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui durabilitas agregat. Pada agregat kasar alami didapatkan nilai sebesar 30,8% , agregat buatan bulat sebesar 22,78%, sedangkan agregatn buatan stone crusher sebesar 24,03 untuk agregat buatan. Nilai tersebut telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 yang menetapkan persyaratan maksimal 40%. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa agregat yang digunakan mempunyai nilai keausan yang cukup kecil sehingga tidak mudah pecah selama pemadatan atau akibat beban lalu lintas. Dengan nilai keausan yang cukup kecil dan memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan, maka gradasi agregat di dalam perkerasan tidak akan berubah secara signifikan, sehingga dapat mempertahankan gradasi rencana dengan baik.

### 3. Kelekatan agregat terhadap aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kelekatan agregat terhadap aspal. Dari hasil pengujian diperoleh nilai 98% untuk agregat kasar alami

dan sebesar 97% pada agregat buatan bulat, sedangkan agregat buatan stone crusher adalah sebesar 96% . Nilai ini lebih besar dari 95% yang menjadi persyaratan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Hal ini menunjukkan bahwa agregat yang diuji memiliki sifat kelekatan terhadap aspal yang cukup besar sehingga agregat cukup tahan terhadap pemisahan aspal, misalnya akibat pengaruh air.

#### 4.1.2 Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal ex. Pertamina Pen 60/70. Karakteristik aspal Pen 60/70 ini akan diperiksa sesuai persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Hasil dari pengujian karakteristik aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil pengujian karakteristik aspal

No.	Jenis Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	60 – 70	64
2	Titik Lembek (°C)	≥ 48	51
3	Daktilitas pada 25°C (cm)	≥ 100	≥ 100
4	Titik Nyala (°C)	≥ 232	256
5	Berat Jenis	≥ 1,0	1,033

Berdasarkan Tabel 4.2 terdapat nilai persyaratan karakteristik aspal yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Untuk hasil pengujian dan perhitungan pemeriksaan aspal dapat dilihat pada Lampiran A.4. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi karakteristik yang telah ditentukan sehingga dapat digunakan pada campuran perkerasan jalan.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap aspal ex. Pertamina Pen 60/70. Hasil dari pengujian sifat fisik atau karakteristik aspal dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dari Tabel 4.2 menunjukkan bahwa aspal yang digunakan memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

### 1. Pengujian Penetrasi

Pengujian penetrasi dimaksudkan untuk menetapkan nilai kekerasan aspal. Semakin besar nilai penetrasi maka aspal semakin lunak dan begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai penetrasi maka aspal semakin keras.

Pada pengujian penetrasi aspal di laboratorium didapatkan hasil bacaan pada alat penetrasi rata-rata aspal yang diuji adalah 64. Dari hasil pengujian bisa diketahui aspal yang digunakan memenuhi syarat aspal penetrasi 60/70, yaitu nilai penetrasinya harus berada diantara 60 sampai dengan 70.

### 2. Pengujian Titik Lembek

Pengujian titik lembek aspal bertujuan untuk mengetahui suhu dimana aspal mulai mencapai titik lembeknya sehingga bisa dijadikan patokan dalam pekerjaan di lapangan untuk menentukan suhu maksimum yang digunakan sebelum aspal menjadi lembek. Dari hasil pengujian titik lembek didapatkan nilai yaitu 52°C. Nilai ini sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 dimana nilai titik lembek untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu antara 48°C – 58°C.

### 3. Pengujian Titik Nyala dengan *Cleveland Open Cup*

Dari hasil pengujian titik nyala didapatkan suhu titik nyala pada aspal Pertamina pen. 60/70 adalah 256°C. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3, hasil ini sudah sesuai dengan spesifikasi untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu titik nyala harus  $\geq 232^{\circ}\text{C}$ .

### 4. Pengujian Daktilitas

Pengujian daktilitas pada aspal bertujuan untuk mengetahui ketahanan aspal dalam mempertahankan sifat aslinya terhadap perubahan misalnya air dan untuk mengetahui elastisitas bahan aspal. Sesuai persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3, aspal yang baik untuk digunakan adalah aspal dengan nilai daktilitas  $\geq 100$  cm. Pada pengujian ini aspal yang diuji sudah memenuhi syarat dengan nilai minimal 100 cm.

## 5. Pengujian Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 1,033 kg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 berat jenis aspal yang dapat digunakan adalah aspal dengan berat jenis  $\geq 1,0$  kg/m<sup>3</sup>.

### 4.2 Pengujian Campuran Aspal

Setelah dilakukan pemeriksaan terhadap karakteristik material yang digunakan, selanjutnya yaitu merencanakan campuran aspal. Pada penelitian ini campuran dibuat dalam dua gradasi yaitu gradasi rapat mengikuti spesifikasi FAA dan gradasi terbuka dari spesifikasi BBA untuk perkerasan *surface course* bandara. Ada 2 variasi presentase agregat buatan dan agregat stone crusher yang digunakan yaitu untuk variasi 1 25% AB, 25% ABSC, dan 50% AA kemudian untuk variasi 2 25% AB, 75% ABSC. Penggunaan agregat buatan hanya dilakukan pada fraksi kasar. Penelitian pada pengujian *Marshall* dan perendaman (*immersion test*) dilakukan di Laboratorium Perhubungan dan Bahan Perkerasan Jalan ITS, Surabaya.

#### 4.2.1 Pengujian Campuran dengan Metode *Marshall*

Nilai Kadar Aspal Optimum diperoleh melalui pengujian dengan metode *Marshall*. Beberapa parameter seperti stabilitas, kelelahan (*flow*), kepadatan, rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFA) diperoleh dari hasil analisis terhadap pengujian *Marshall*. Rumus-rumus yang digunakan dalam analisis *Marshall* ditunjukkan pada Lampiran B.3. Data yang didapat dari pengujian *Marshall* adalah data tinggi sampel, stabilitas, dan flow. Data hasil pengujian dari tiap variasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.3 - 4.6.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian *Marshall* (100% AA)

Kadar Aspal	Gradasi Rapat (FAA)			Gradasi Terbuka (BBA)		
	H	Stabilitas	Flow	H	Stabilitas	Flow
%	mm	kg	mm	mm	kg	mm
4.5	67.73	610	3.9	-	-	-
	66.57	690	3.2	-	-	-
	66.60	705	3.2	-	-	-
5	66.83	770	2.9	65.60	490	4.9
	66.60	720	3.1	65.90	500	2.8
	66.30	720	3	66.27	480	1.1
5.5	66.1	800	3.3	64.90	490	1.9
	63.7	840	3.5	67.10	500	2.85
	65.23	845	3.1	65.10	510	2.35
6	64.87	840	3	62.10	545	2.3
	64.30	835	3.1	62.30	570	2.7
	65.90	760	3.2	62.20	550	4.85
6.5	62.83	750	3.5	62.47	520	4
	62.67	710	2.8	61.70	520	4.5
	62.93	720	3.6	62.17	510	3
7	-	-	-	62.83	380	3.2
	-	-	-	62.63	390	3.9
	-	-	-	61.23	370	5.5

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian *Marshall* (25% AB;75% AA)

Kadar Aspal	Gradasi Rapat (FAA)			Gradasi Terbuka (BBA)		
	H	Stabilitas	Flow	H	Stabilitas	Flow
%	mm	kg	mm	mm	kg	mm
4.5	71.4	460	3.2	-	-	-
	70.7	530	2.6	-	-	-
	71	550	3	-	-	-
5	69.5	655	3.3	71.9	620	4.4
	69.3	550	2.7	71.3	725	3.3
	69.4	595	2.9	69	640	3.3
5.5	68.3	625	4	69.4	640	3.1
	68	615	3.5	71.3	750	3.9
	68.4	570	2.8	68.1	705	4.1
6	67.5	540	3	69.3	700	4
	66.5	650	4	68.5	710	4
	67.4	590	3.4	68.1	600	3.9
6.5	66.6	545	3.3	67.4	600	4.1
	66.4	620	3	68.1	595	4
	68.9	585	4.2	67.1	550	3.9
7	-	-	-	66.6	555	4
	-	-	-	66.5	580	4.3
	-	-	-	67.2	500	3.9

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian *Marshall* (25% AB ; 25% ABSC ; 50% AA)

Kadar Aspal	Gradasi Rapat (FAA)			Gradasi Terbuka (BBA)		
	H	Stabilitas	Flow	H	Stabilitas	Flow
%	mm	kg	mm	mm	kg	Mm
4.5	73.93	570	4	-	-	-
	73.90	570	4.9	-	-	-
	74.10	510	3	-	-	-
5	71.87	600	3.3	72.20	610	2
	71.87	600	3.3	72.37	590	3
	72.13	585	1.8	73.13	580	4.2
5.5	72.03	580	5.5	71.10	650	5.3
	71.43	510	2.8	71.50	650	3.8
	71.83	515	2.9	70.70	740	3.9
6	72.10	570	3.1	70.33	595	4.6
	71.73	480	3.8	70.90	695	4.4
	71.10	515	3.6	70.43	640	3.1
6.5	71.73	480	3.8	67.53	660	3.8
	71.10	515	3.6	70.03	550	3.6
	71.67	570	2.9	71.67	655	3.8
7	-	-	-	67.40	520	3.7
	-	-	-	67.43	560	5.7
	-	-	-	68.40	530	5.1

Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian *Marshall* (25% AB ; 75% ABSC)

Kadar Aspal	Gradasi Rapat (FAA)			Gradasi Terbuka (BBA)		
	H	Stabilitas	Flow	H	Stabilitas	Flow
%	mm	kg	mm	mm	kg	mm
4.5	67.20	360	2.3	-	-	-
	66.40	295	4.6	-	-	-
	67.30	300	3.9	-	-	-
5	65.00	400	4.4	65.10	405	4.7
	67.30	420	2	65.67	400	3.6
	67.10	430	5.5	66.03	410	4.5
5.5	65.00	420	1.8	64.93	460	3.2
	65.10	430	3.5	65.03	470	3.4
	65.80	450	2.3	65.77	460	3.5
6	65.10	460	3.7	64.20	550	2.7
	65.00	455	4.2	64.90	535	3.9
	64.00	475	3.1	65.07	560	3.7
6.5	63.60	440	1.8	63.27	504	3.2
	64.00	450	3.1	62.43	520	3
	64.00	470	3.4	64.57	505	3.5
7	-	-	-	64.10	390	3.6
	-	-	-	62.70	370	2.8
	-	-	-	64.27	400	2

Dari Tabel 4.3-4.6 dapat dilihat data hasil pengujian pada campuran dengan dua gradasi berbeda yaitu gradasi FAA dan gradasi BBA dimana tiap variasi kadar aspal dibuat sebanyak 3 sampel. Data H merupakan rata-rata tinggi benda uji kering yang diukur menggunakan jangka sorong yang mana tinggi diambil pada 3 titik di setiap sampelnya dan dihitung reratanya, sedangkan data stabilitas dan flow didapatkan dengan membaca dial secara langsung saat dilakukan pengujian *Marshall*.

Pada perhitungan *Marshall* diperlukan beberapa data yaitu berat jenis, tinggi benda uji, nilai koreksi benda uji, serta kalibrasi dari alat. Analisis *Marshall* dilakukan dengan menghitung variasi kadar aspal. Berikut adalah contoh perhitungan karakteristik Marshall pada variasi V2 untuk gradasi BBA aspal 5%. Perhitungan lengkap untuk kadar aspal lainnya dapat dilihat pada Lampiran B.1. Contoh perhitungan pada analisis *Marshall* adalah sebagai berikut :

- Data benda uji :

- Tinggi sampel = 7,22 mm
- Berat sampel = 1200 gram
- Berat aspal = 5% x 1200 gram = 60 gram
- Berat agregat = 100% - 5% = 95%
- Berat jenis bulk/bj semu agregat kasar = 2,542/2,703
- Berat jenis bulk/bj semu agregat halus = 2,599/2,848
- Berat jenis bulk/bj semu filler = 2,614/2,725
- Berat jenis bulk/bj semu agr. AB = 1,85/2,09
- Berat jenis bulk/bj semu agr. ABSC = 1,93/2,217
- Berat jenis efektif agregat kasar

$$= \frac{Bj \text{ agregat} + Bj \text{ semu}}{2} = \frac{2.542 + 2.703}{2} = 2,622$$

- Berat jenis efektif (Gse)

$$= \frac{100}{\frac{Bj \text{ Ag.Kasr}}{Bj \text{ Efektif Kasar}} + \frac{Bj \text{ Ag.Halt}}{Bj \text{ Efektif Halus}} + \frac{Bj \text{ Ag.Fillr}}{Bj \text{ Efektif Filler}} + \frac{\%Bj \text{ Ag.Kasar AB}}{Bj \text{ Efektif Kasar AB}} + \frac{\%Bj \text{ Ag.KasarABSC}}{Bj \text{ Efektif Kasar ABSC}}}$$

$$= \frac{30.00}{2.542} + \frac{32.50}{2.557} + \frac{7.50}{2.614} + \frac{15.00}{1.853289789} + \frac{15}{1.963}$$

$$= 2,319$$

$$\text{- Berat jenis aspal} = 1,033$$

Dari perhitungan *Marshall* akan didapat nilai Stabilitas, VIM, VMA, VFA, Flow, dan MQ. Berikut adalah contoh perhitungan *Marshall* :

- Contoh perhitungan

a. Nomor briket

b. Teball benda uji = 72,2 mm

c. Kadar aspal = 5%

d. Kadar agregat =  $100 - c = 100 - 5 = 95\%$

e. Berat kering = 1183,60 gram

f. Berat jenuh/SSD = 1216,30 gram

g. Berat dalam air = 652 gram

h. Volume benda uji (f-g) =  $1183,60 - 652 = 564,30$  gram

i. Berat jenis bulk campuran padat (Gmb)

$$= \frac{e}{h} = \frac{1183,60}{564,30} = 2,10 \text{ g/cm}^3$$

j. Berat jenis maksimum campuran (Gmm)

$$= \frac{100}{\frac{\%agregat}{Bj agregat Eff} + \frac{\%Aspal}{Bj Aspal}}$$

$$= 100 / \left( \frac{95}{2,425} + \frac{5}{1,033} \right) = 2,27$$

k. Volume total aspal

$$= \frac{cxi}{bj.aspal} = 10,53\%$$

l. Volume total agregat

$$= \frac{100-c}{Bj Agregat Efektif} \times i = 79$$



m. Rongga udara dalam campuran (VIM)

$$= 100 - (100 \times \frac{i}{j}) = 7,66 \%$$

n. Rongga antar agregat (VMA)

$$= 100 - l = 20,15 \%$$

o. Rongga terisi aspal (VFA)

$$= \frac{n-m}{m} \times 100 = 61,96$$

p. Stabilitas bacaan alat = 610

q. Stabilitas terkoreksi :

$$\text{Koreksi isi} = 0,86 \text{ (lihat tabel)}$$

$$\text{Faktor kalibrasi} = 0,454 \times 7,28 = 3,305$$

r. Stabilitas setelah koreksi

$$= \text{stabilitas bacaan alat} \times \text{koreksi tinggi} \times \text{faktor kalibrasi}$$

$$= 1733,87 \text{ kg}$$

s. Flow = 2 mm

$$\text{t. } \textit{Marshall Quotient (MQ)} = \frac{r}{s} = 688,93 \text{ kg/mm}$$

Dari data hasil pengujian *Marshall* dilakukan perhitungan dan didapatkan rata-rata dari tiap nilai karakteristik untuk campuran perkerasan. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan nilai karakteristik yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.10. Dari Tabel 4.7 sampai Tabel 4.10 dapat dilihat nilai rata-rata dari hasil perhitungan karakteristik *Marshall* masing-masing variasi campuran pada tiap kadar aspal nya. Standar spesifikasi karakteristik campuran yang ditentukan mengacu pada standar spesifikasi *Federal Aviation Administration* (FAA) dan Kemenhub untuk campuran perkerasan *surface course* landasan pacu bandara. Dapat dilihat bahwa parameter *Marshall* dari semua jenis campuran cenderung memenuhi persyaratan dalam Standar Spesifikasi FAA dan Kemenhub. Namun ketika penggunaan agregat buatan stone crusher ditambahkan dapat dilihat bahwa nilai VIM dan VFA tidak memenuhi persyaratan di beberapa kadar aspal. Contoh benda uji campuran aspal dan dokumentasi pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Lampiran D.

Analisis nilai empiris *Marshall* ditunjukkan dengan nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) yang merupakan besaran yang diukur langsung dari pengujian pada saat benda uji dibebani dengan alat uji Marshall. Sedangkan nilai volumetrik campuran yang dilakukan meliputi rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA).

Tabel 4.7 Nilai Karakteristik *Marshall* 100% AA

Karakteristik Campuran	Gradasi Terbuka (BBA)					Gradasi Rapat (FAA)					Spesifikasi
	Kadar Aspal (%)					Kadar Aspal (%)					
	5	5.5	6	6.5	7	4.5	5	5.5	6	6.5	
Stabilitas (kg)	1576.32	1630.53	1907.72	1775.95	1273.13	2120.56	2400.84	2774.76	2831.83	2472.12	≥ 2150 lbs (971kg)
Flow (mm)	2.93	2.37	3.28	3.83	4.20	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	2.5-4
VIM (%)	7.34	5.81	3.92	2.12	2.74	9.14	7.87	4.75	2.62	3.16	3-4
VMA (%)	22.21	21.94	21.40	20.95	22.46	22.83	22.75	21.14	20.40	21.85	≥ 15
VFB (%)	66.98	73.54	81.69	89.90	87.79	59.97	65.40	77.59	87.17	85.54	76-82
MQ (kg/mm)	760.55	708.77	643.32	476.13	319.52	626.49	801.11	842.37	914.64	760.93	≥ 250
Kepadatan (g/cm3)	2.27	2.29	2.32	2.35	2.31	2.25	2.27	2.33	2.36	2.33	

Tabel 4.8 Nilai Karakteristik *Marshall* 25%AB 75% AA

Karakteristik Campuran	Gradasi Terbuka (BBA)					Gradasi Rapat (FAA)					Spesifikasi
	Kadar Aspal (%)					Kadar Aspal (%)					
	5	5.5	6	6.5	7	4.5	5	5.5	6	6.5	
Stabilitas (kg)	1846.18	1996.045	1957.795	1747.835	1671.016	1420.83	1723.44	1778.47	1803.13	1785.16	≥ 2150 lbs (971kg)
Flow (mm)	3.67	3.7	3.97	4	4.07	2.93	2.97	3.43	3.47	3.5	2.5-4
VIM (%)	7.39	5.58	3.98	1.15	0.91	5.8	3.82	2.89	1.06	0.77	03-Apr
VMA (%)	17.97	17.36	16.96	15.53	16.34	18.5	17.74	17.89	17.3	18.01	≥ 15
VFB (%)	58.94	67.92	76.63	92.67	94.47	68.92	78.54	83.93	93.97	95.74	76-82
MQ (kg/mm)	516.85	543.7	493.24	436.84	410.58	490.1	581.6	526.11	522.08	522.25	≥ 250

Tabel 4.9 Nilai Karakteristik *Marshall* 25%AB 25%ABSC 50% AA

Karakteristik Campuran	Gradasi Terbuka (BBA)					Gradasi Rapat (FAA)					Spesifikasi
	Kadar Aspal (%)					Kadar Aspal (%)					
	5	5.5	6	6.5	7	4.5	5	5.5	6	6.5	
Stabilitas (kg)	1686.49	1932.83	2126.29	2172.95	1829.27	1563.32	1672.28	1757.22	1824.54	1715.14	≥ 2150 lbs (971kg)
Flow (mm)	3.07	3.40	4.03	3.73	4.83	3.97	3.53	2.93	3.43	2.57	2.5-4
VIM (%)	7.15	5.92	5.38	3.83	1.94	9.14	7.87	5.13	2.62	3.64	3-4
VMA (%)	19.70	19.61	20.11	19.77	19.17	16.23	16.16	16.12	16.39	16.43	≥ 15
VFB (%)	63.77	69.83	73.32	80.65	89.92	54.80	61.50	68.29	73.50	79.79	76-82
MQ (kg/mm)	606.15	458.04	543.97	581.04	387.30	406.30	580.11	598.89	544.67	669.27	≥ 250
Kepadatan (g/cm3)	2.11	2.12	2.12	2.14	2.17	2.05	2.06	2.08	2.08	2.09	

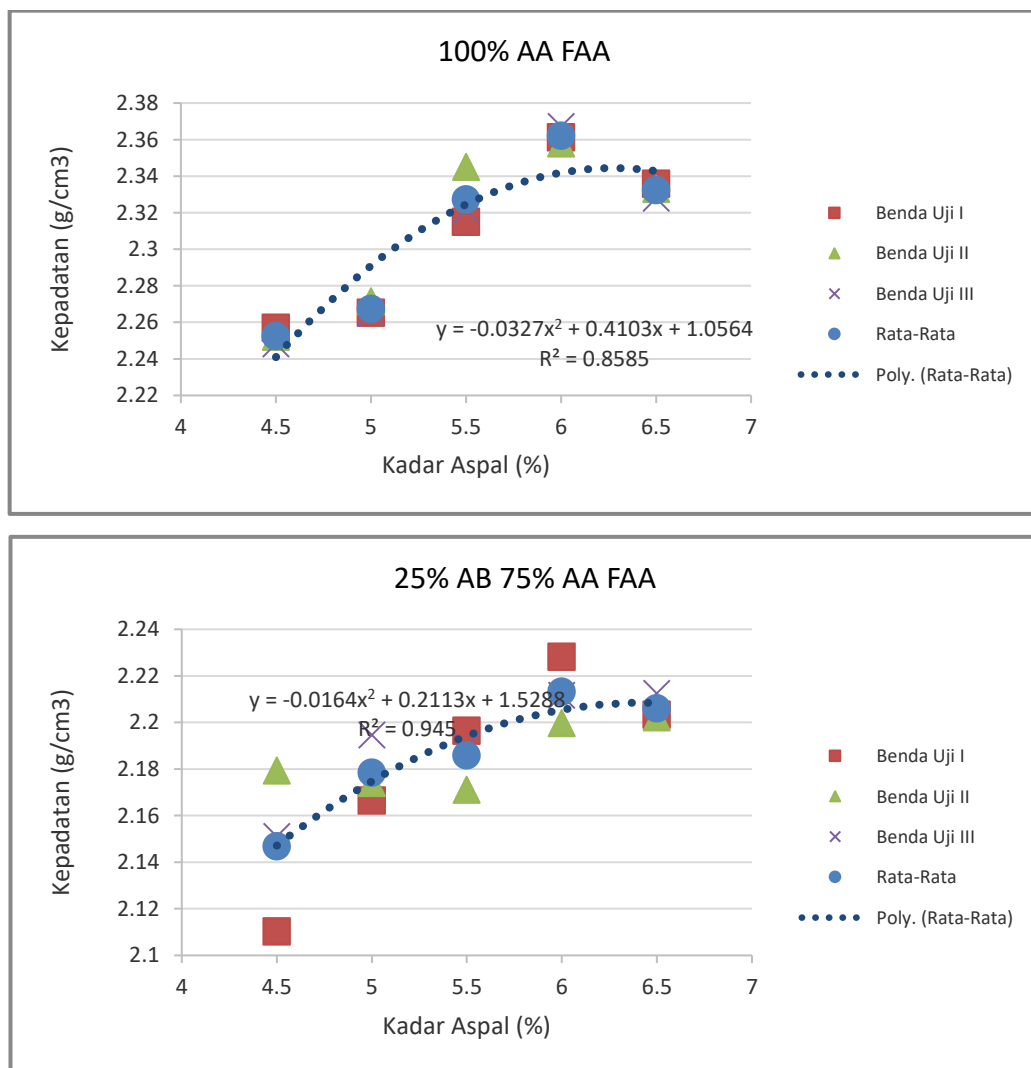
Tabel 4.10 Nilai Karakteristik *Marshall* 25%AB 75%ABSC

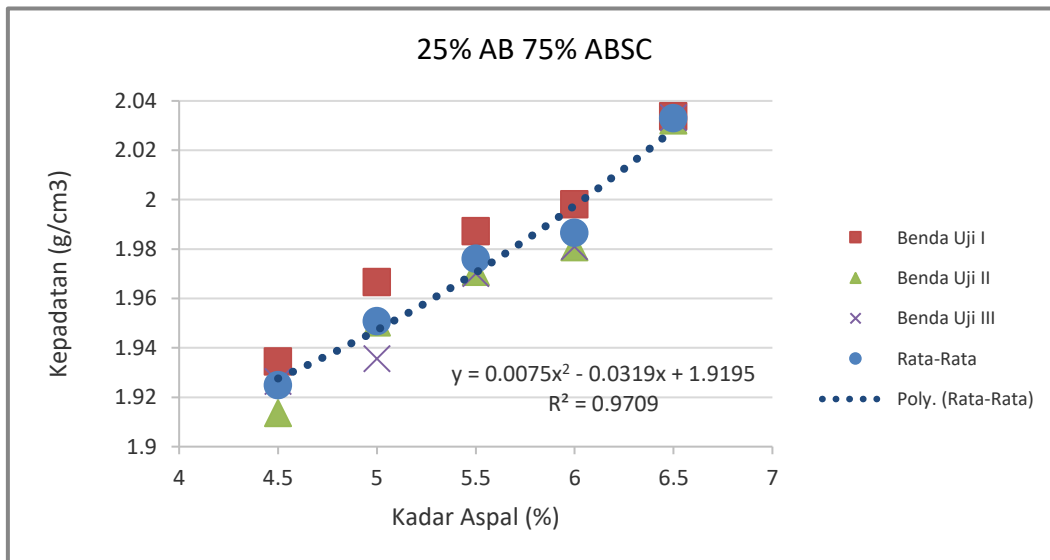
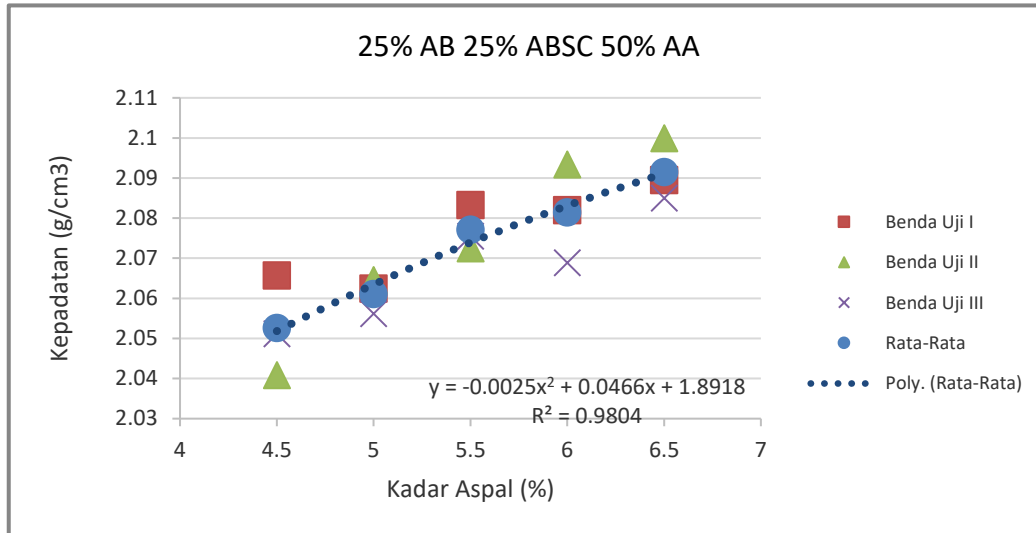
Karakteristik Campuran	Gradasi Terbuka (BBA)					Gradasi Rapat (FAA)					Spesifikasi
	Kadar Aspal (%)					Kadar Aspal (%)					
	5	5.5	6	6.5	7	4.5	5	5.5	6	6.5	
Stabilitas (kg)	1378.24	1669.75	1812.31	1779.71	1314.67	1025.91	1359.51	1432.22	1618.79	1542.94	≥ 2150 lbs (971kg)
Flow (mm)	6.10	3.40	3.43	3.23	2.80	3.60	3.40	2.53	3.67	2.77	2.5-4
VIM (%)	12.84	8.58	5.61	3.76	2.36	11.04	9.33	7.63	6.61	3.89	3-4
VMA (%)	23.97	20.97	19.44	18.75	18.46	21.44	20.64	20.20	20.19	18.77	≥ 15
VFB (%)	46.48	59.09	71.16	79.96	87.22	48.52	54.86	62.24	67.30	79.27	76-82
MQ (kg/mm)	273.53	290.26	542.30	552.33	498.38	321.62	413.64	607.97	450.58	595.92	≥ 250
Kepadatan (g/cm3)	1.86	1.94	1.99	2.02	2.04	1.92	1.95	1.98	1.99	2.03	

Nilai karakteristik Marshall tersebut merupakan parameter yang akan menentukan dalam pencarian kadar aspal optimum (KAO) pada campuran. Penggunaan gradasi, variasi agregat buatan, serta kadar aspal akan memberikan nilai volumetric yang berbeda pada campuran aspal. Berikut adalah analisis terhadap nilai karakteristik Marshall pada tiap variasi agregat buatan dan penggunaan gradasi:

### 1. Kepadatan (*Density*)

Nilai density adalah perbandingan antara berat kering dengan volume benda uji campuran aspal beton. Gambar 4.2 adalah grafik nilai density di semua variasi penggunaan agregat buatan pada penggunaan gradasi rapat FAA.

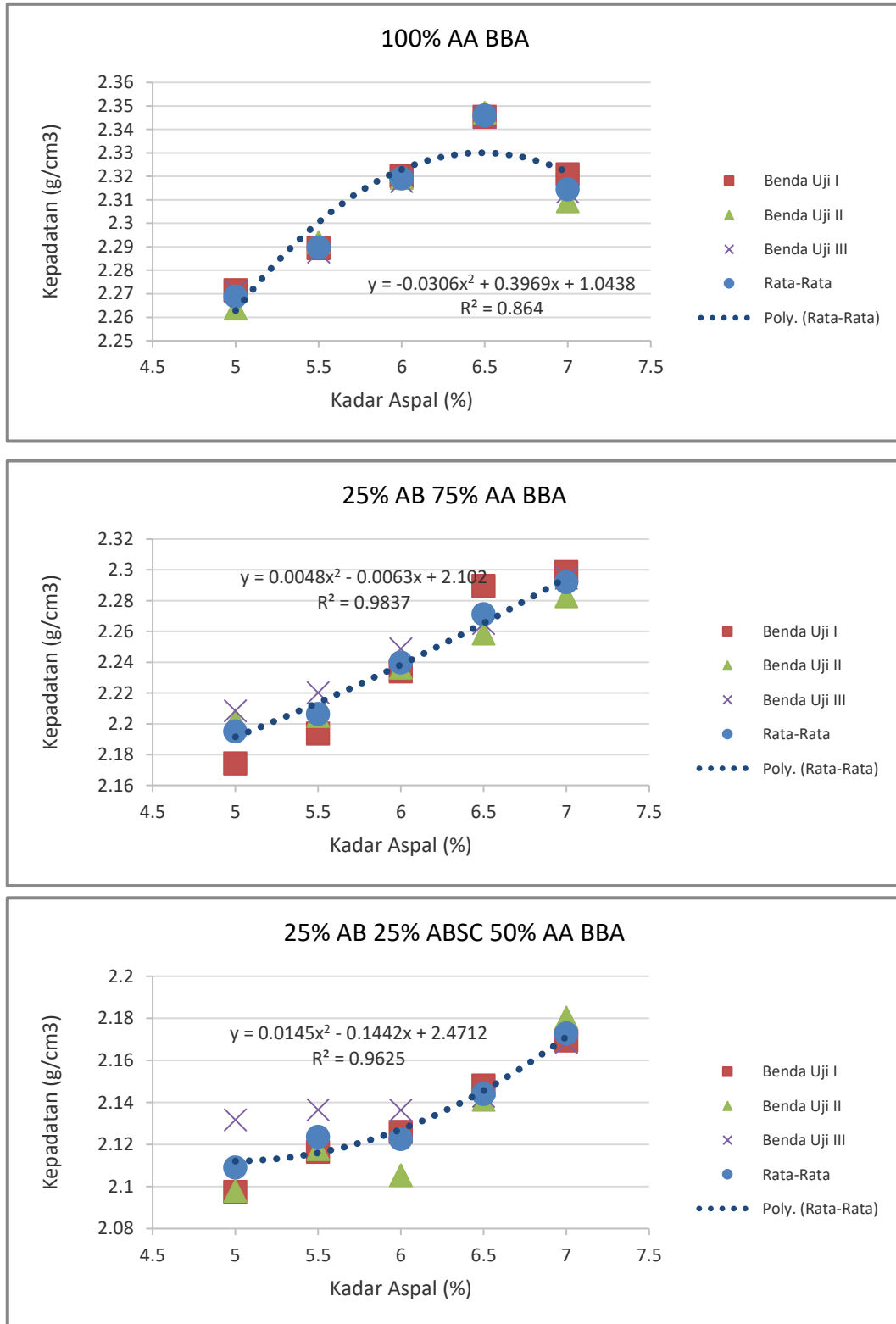


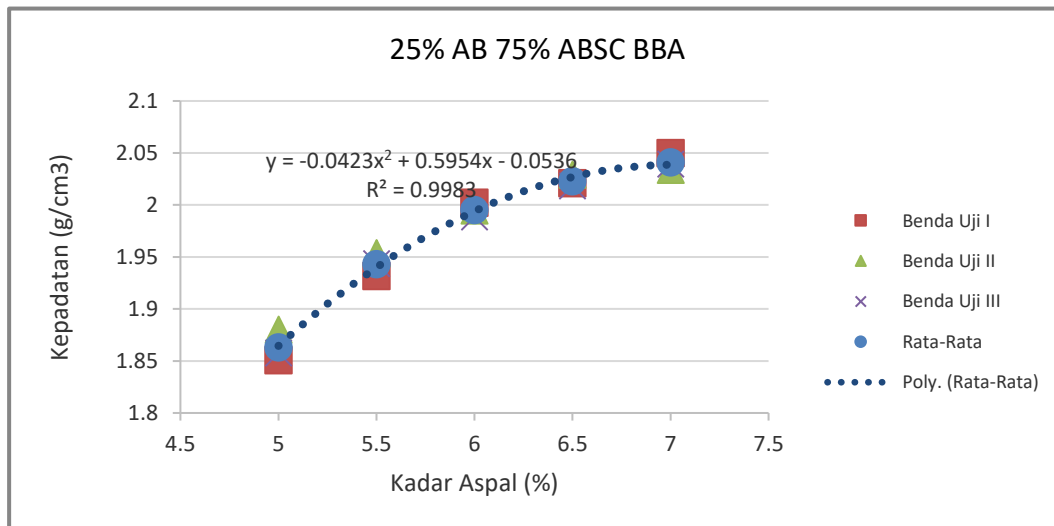


Gambar 4.2 Grafik Kepadatan (density) pada Gradasi Rapat FAA

Pada gambar 4.2 dapat dilihat nilai kepadatan pada tiap variasi penggunaan agregat buatan. Penggunaan 100% agregat alam memberikan nilai kepadatan yang lebih tinggi dibanding variasi penggunaan agregat buatan. Nilai density tertinggi ada pada kadar aspal 6% yaitu sebesar 2,36. Seiring dengan penambahan persentase agregat buatan nilai density mengalami penurunan, dimana pada variasi V2 nilai density tertinggi yaitu 2,09 pada kadar aspal 6,5% sedangkan dalam penggunaan V3 nilai density tertinggi yaitu sebesar 2,03 pada kadar aspal 6,5%.

Penggunaan gradasi rapat dan terbuka tentu akan menghasilkan nilai density yang berbeda pula, grafik density pada penggunaan gradasi terbuka BBA dapat dilihat pada Gambar 4.3 sebagai berikut :





Gambar 4.3 Grafik Kepadatan (density) pada Gradasi Terbuka BBA

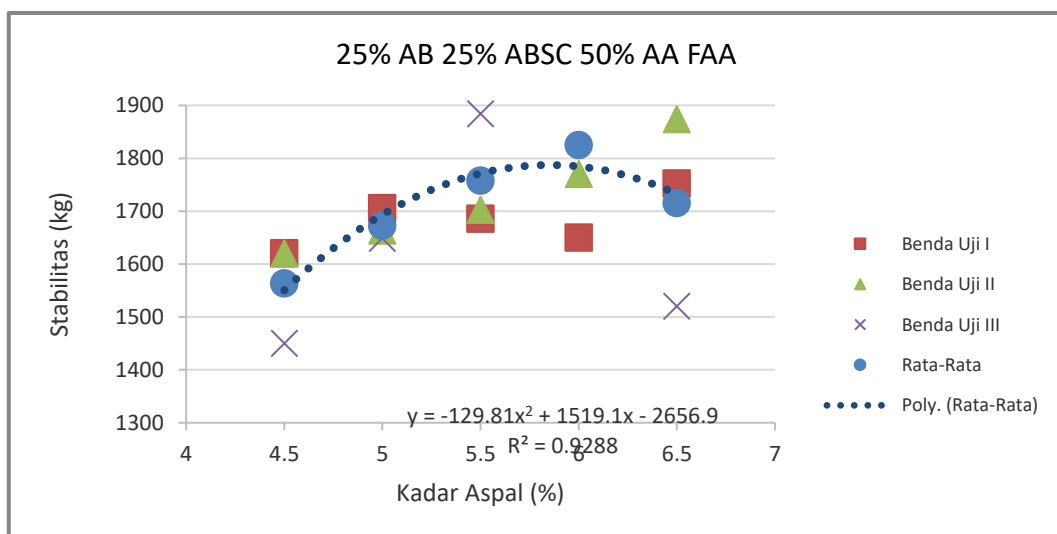
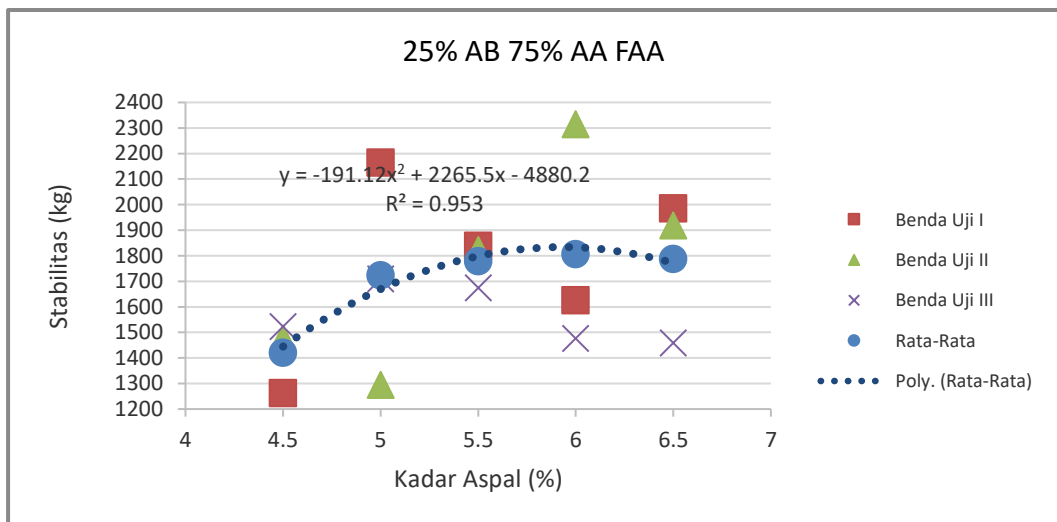
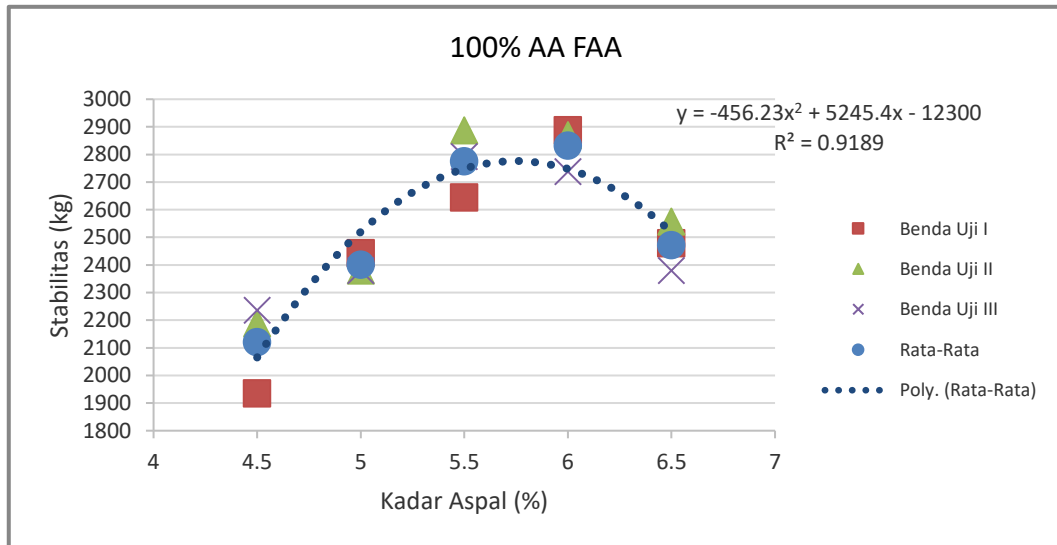
Nilai density pada gradasi terbuka cenderung tidak terlalu berbeda pada gradasi rapat. Dapat dilihat pada gambar 4.3 nilai density tertinggi untuk 100% AA adalah sebesar 2,35. Untuk variasi V2 sebesar 2,17 pada kadar aspal 7%. Pada variasi ini penggunaan gradasi terbuka memberikan nilai density yang lebih tinggi dari pada gradasi tertutup. Sedangkan pada variasi V3 nilai density tertinggi pada kadar aspal 7% yaitu 2,04. Pengaruh penggunaan agregat buatan memberikan nilai density yang lebih kecil dibanding 100% agregat alam. Sedangkan penggunaan gradasi rapat dan terbuka tidak terlalu memberikan dampak yang signifikan terhadap perubahan nilai density.

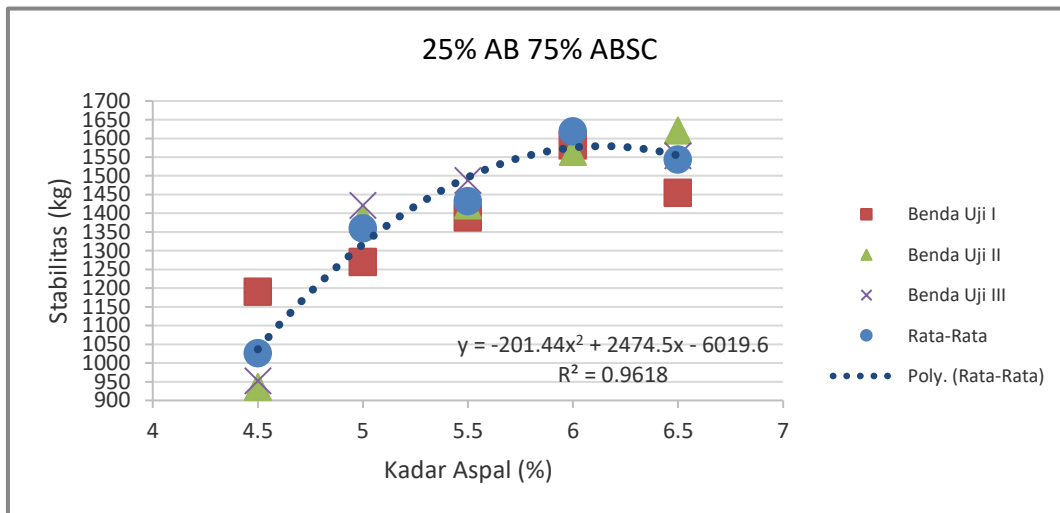
## 2. Stabilitas

Stabilitas campuran dalam pengujian *Marshall* ditujukan dengan pembacaan nilai stabilitas yang dikoreksi dengan angka tebal benda uji. Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya, tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang, alur, dan *bleeding* (Asphalt Institute, 1989). Nilai stabilitas untuk semua variasi agregat buatan bergradasi rapat dapat dilihat pada gambar 4.4. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat nilai stabilitas tertinggi dari semua variasi agregat buatan ada pada penggunaan 100% agregat alam yaitu sebesar 2831 kg pada kadar aspal



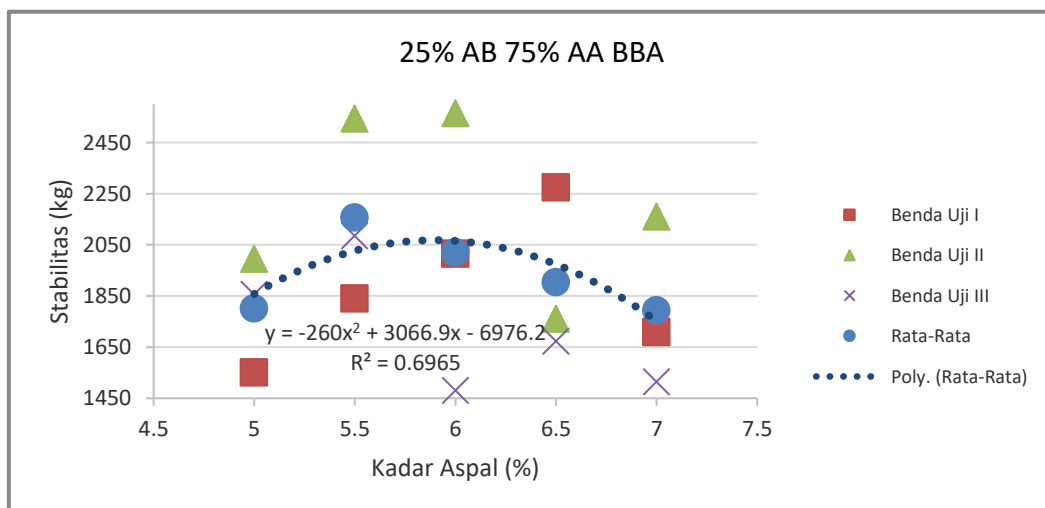
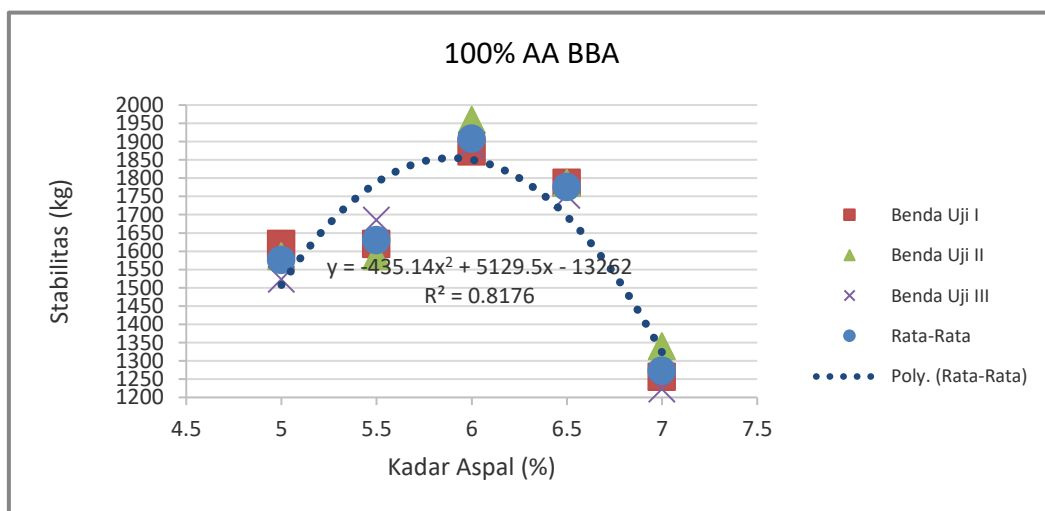
6%. Dengan bertambahnya persentase penggunaan agregat buatan nilai stabilitas cenderung menurun namun masih memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

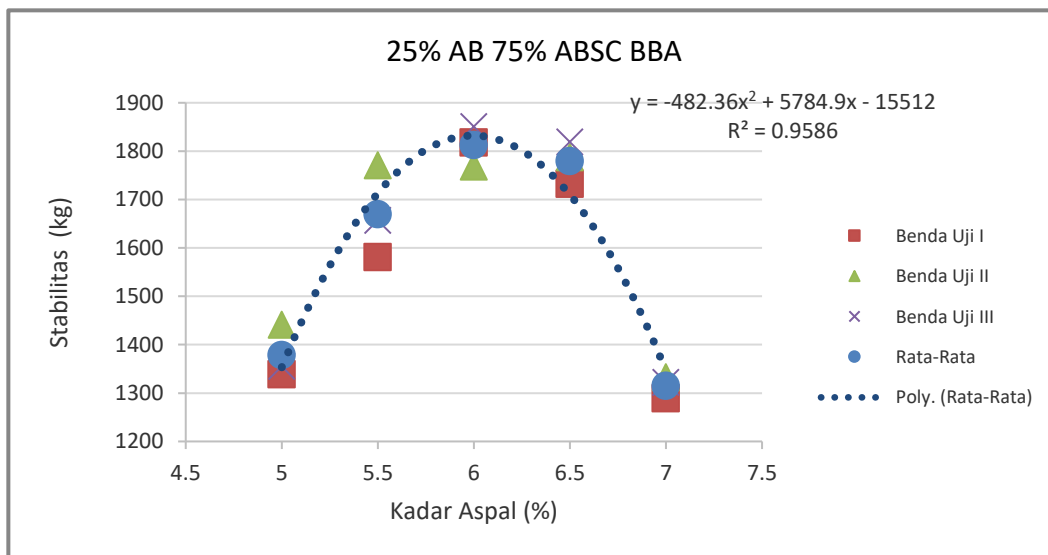
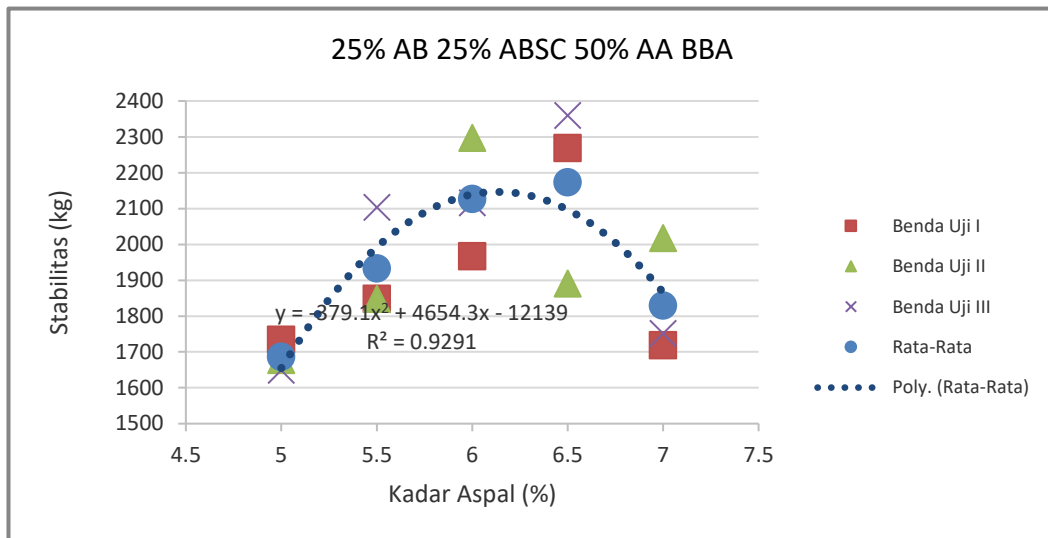




Gambar 4.4 Grafik Stabilitas pada Gradasi Rapat FAA

Dalam variasi kadar aspal pada gradasi tertutup nilai stabilitas cenderung tinggi dan melebihi spesifikasi yang ditetapkan. Gambar 4.5 adalah grafik stabilitas pada gradasi terbuka :



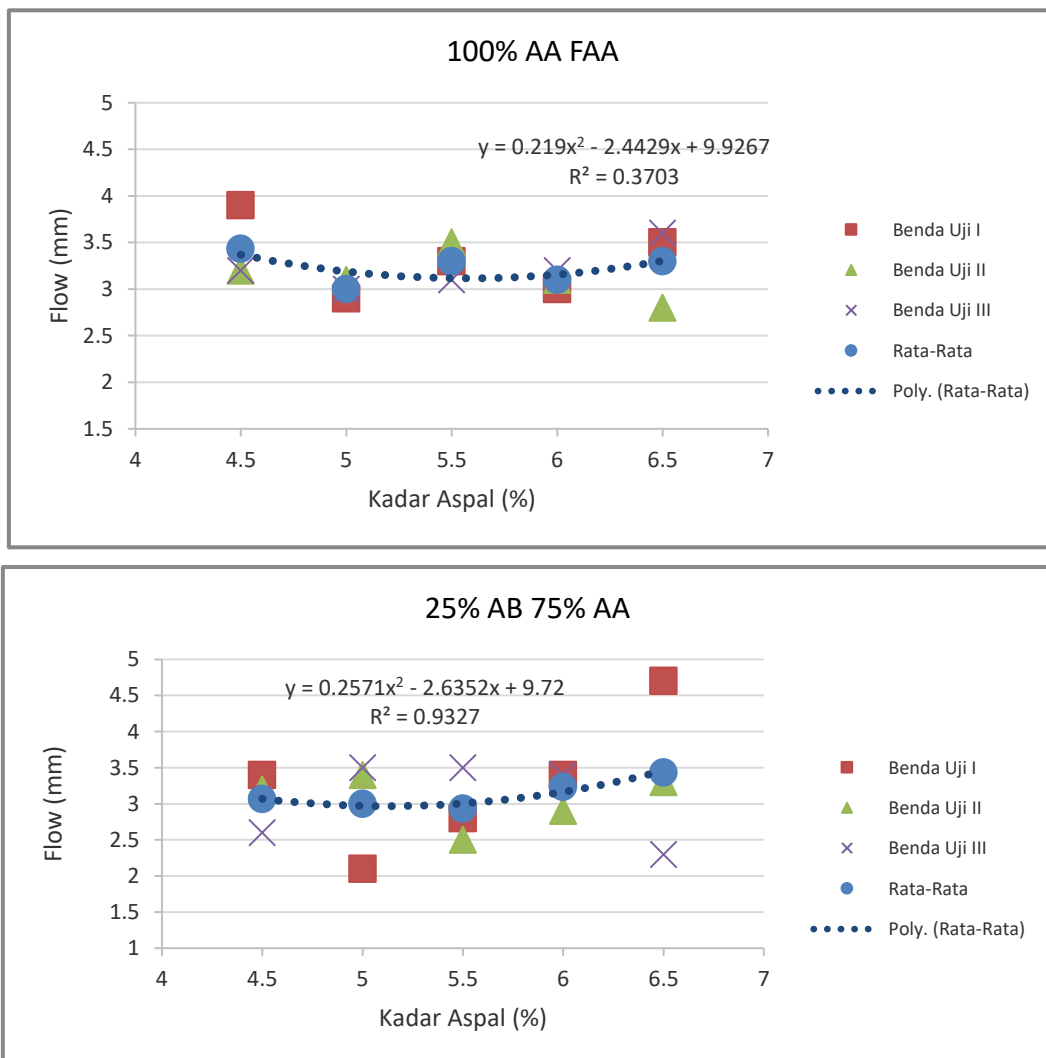


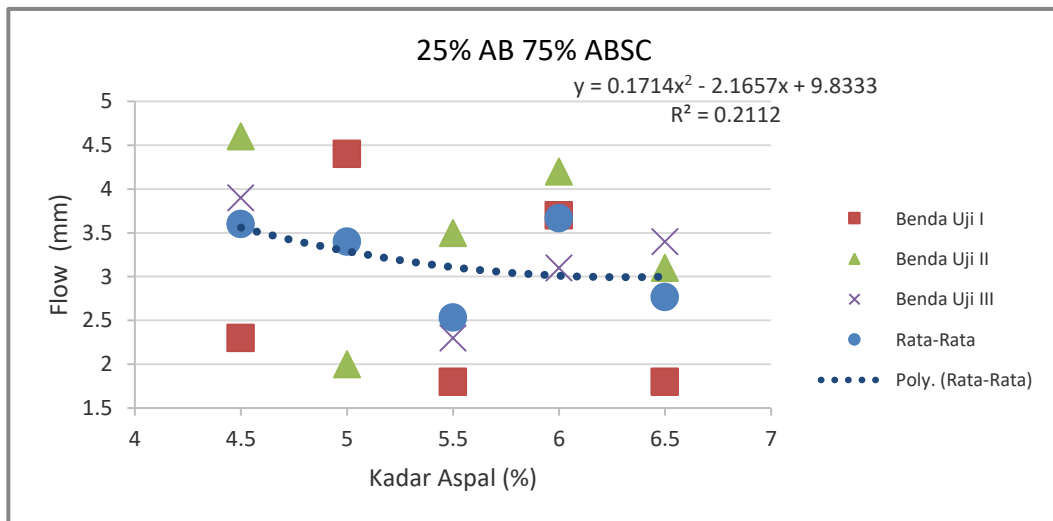
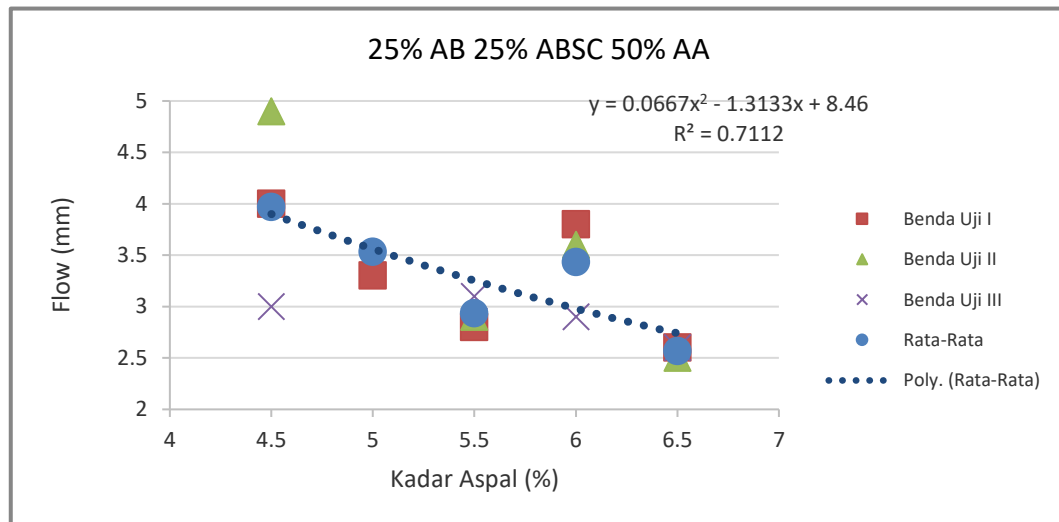
Gambar 4.5 Grafik Stabilitas Pada Gradasi Terbuka BBA

Nilai stabilitas pada gradasi terbuka dalam semua variasi agregat buatan juga masih memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, stabilitas tertinggi pada variasi 100% AA adalah sebesar 1907,72 kg pada kadar aspal 6%, variasi V2 sebesar 2172,95 pada kadar aspal 6,5% , dan V3 sebesar 1812.31 pada kadar aspal 6%. Untuk nilai stabilitas pada gradasi terbuka variasi V2 memberikan stabilitas tertinggi. Penggunaan agregat buatan pada gradasi ini mampu meningkatkan stabilitas pada campuran aspal.

### 3. Kelelahan (Flow)

Kelelahan (*flow*) adalah fungsi dari kekakuan aspal pengikat dan kadar aspal campuran. Kelelahan merupakan parameter empiris yang menjadi indikator terhadap kelenturan atau perubahan bentuk plastis campuran beraspal yang diakibatkan oleh beban. Campuran yang memiliki nilai flow yang rendah dan stabilitas yang tinggi, cenderung menjadi kaku, getas (*brittle*), dan rentan terhadap retak, sedangkan campuran yang memiliki nilai flow yang tinggi dengan stabilitas yang rendah cenderung mudah berubah bentuk apabila mendapatkan beban lalu lintas.. Dari hasil pengujian didapatkan hubungan kadar aspal dengan kelelahan yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



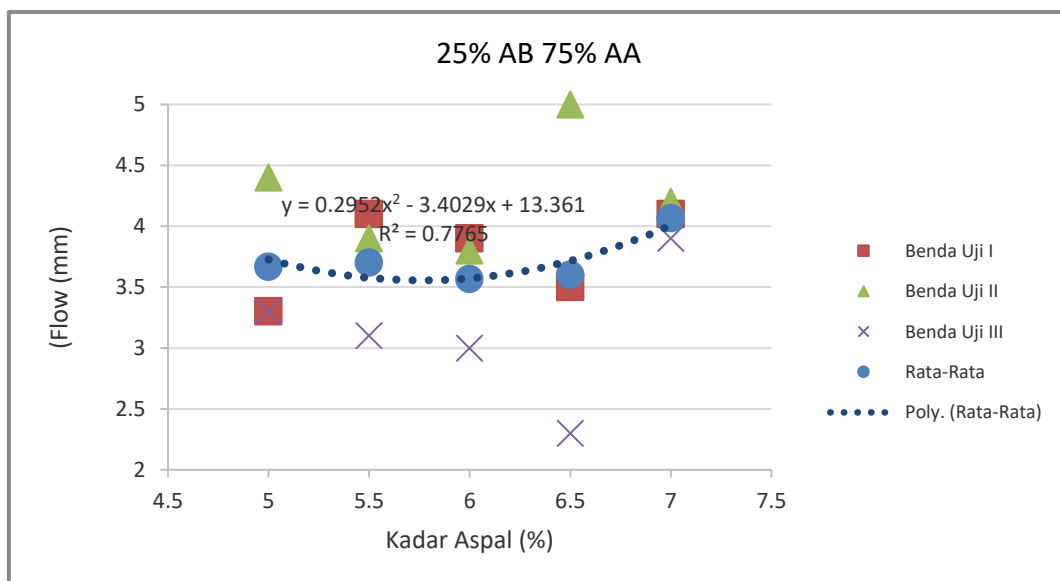
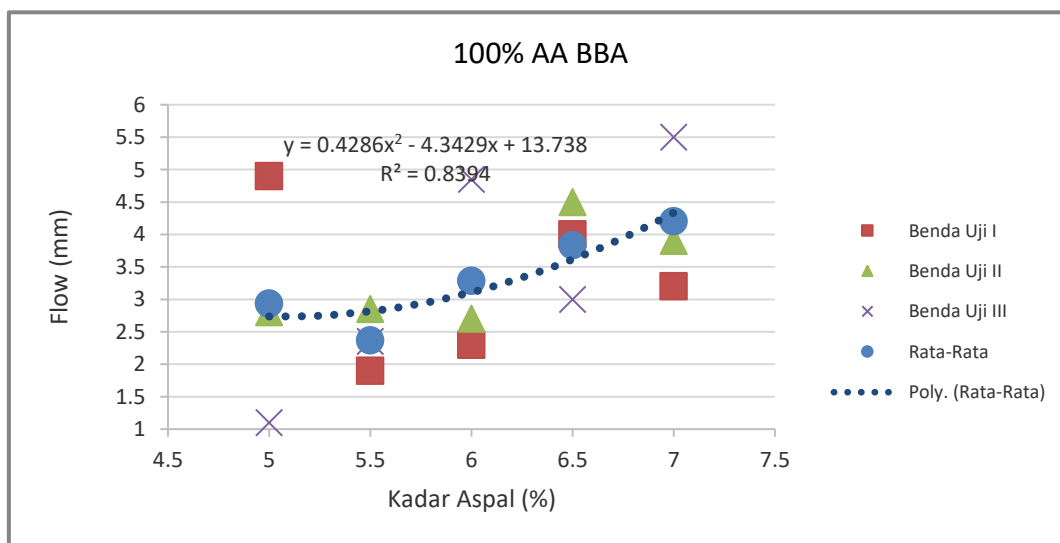


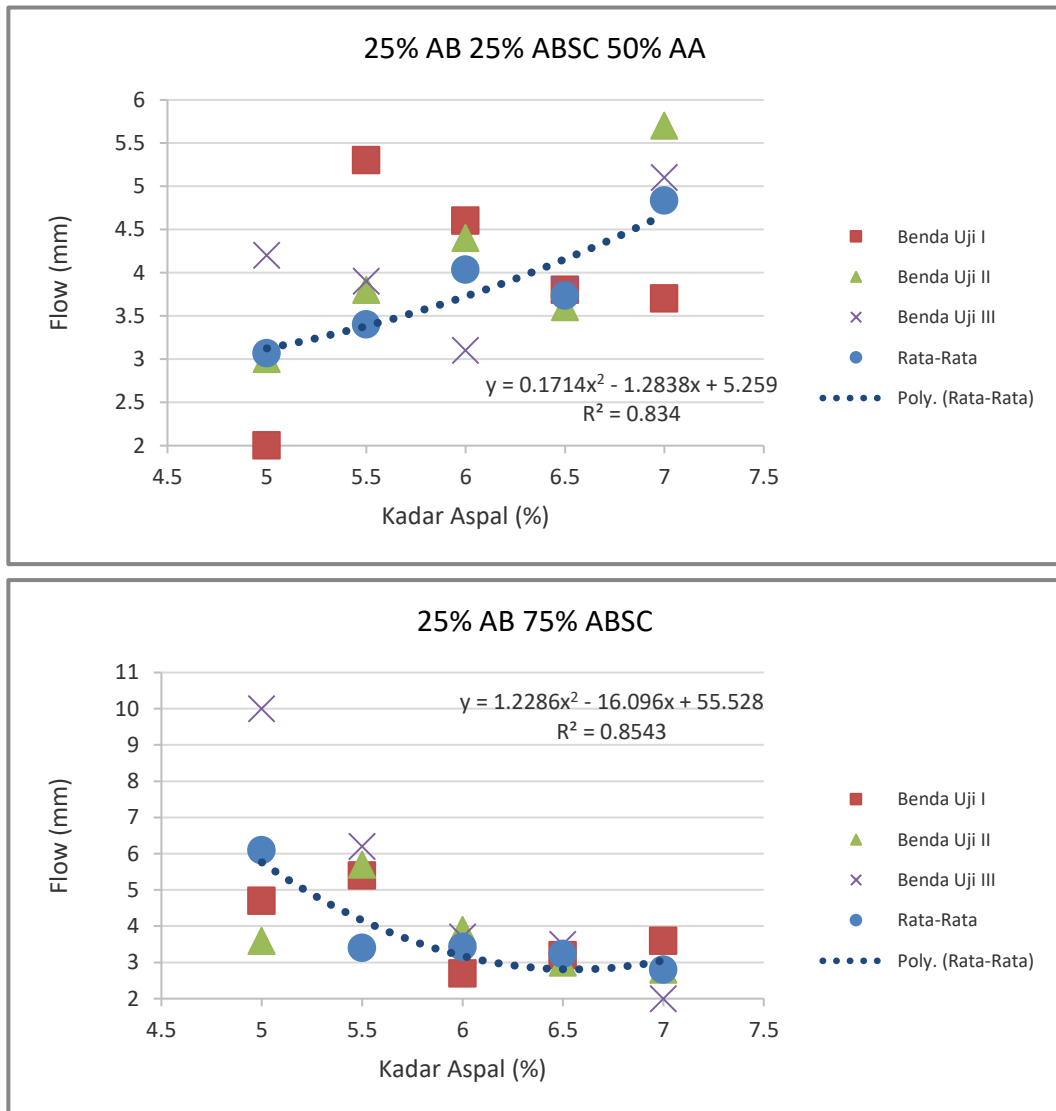
Gambar 4.6 Grafik Kelelehan (mm) pada Gradasi Rapat FAA

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai flow untuk semua variasi agregat memenuhi spesifikasi yang ditetapkan yaitu antara 2,5 mm – 4 mm. Pada variasi penambahan agregat buatan nilai flow cenderung meninggi pada kadar aspal yang rendah. Tidak ada perbedaan nilai flow yang jauh dengan penambahan presentase agregat buatan pada gradasi rapat.

Gambar 4.7 adalah gambar nilai flow pada semua variasi agregat buatan bergradasi terbuka. Nilai flow pada gradasi terbuka rata-rata memenuhi spesifikasi. Pada variasi kadar aspal yang rendah nilai flow tidak memenuhi spesifikasi. Pada campuran dengan gradasi rapat maupun terbuka memiliki nilai yang memenuhi

syarat dalam spesifikasi FAA yaitu berada pada nilai keelehan antara 2,5 mm – 4 . Berdasarkan hubungan keelehan dengan kadar aspal menunjukkan bahwa secara keseluruhan dengan penambahan kadar aspal maka nilai keelehan juga meningkat, hal ini di sebabkan dengan bertambahnya kadar aspal, campuran menjadi semakin plastis. Sesuai sifat aspal sebagai bahan pengikat, maka semakin banyak aspal menyelimuti batuan semakin baik ikatan antara agregat dengan aspal yang menyebabkan nilai keelehan menjadi tinggi. Dalam hal ini campuran dapat digunakan karena rentang nilai keelehan pada campuran tersebut memenuhi syarat standar spesifikasi yang ditentukan

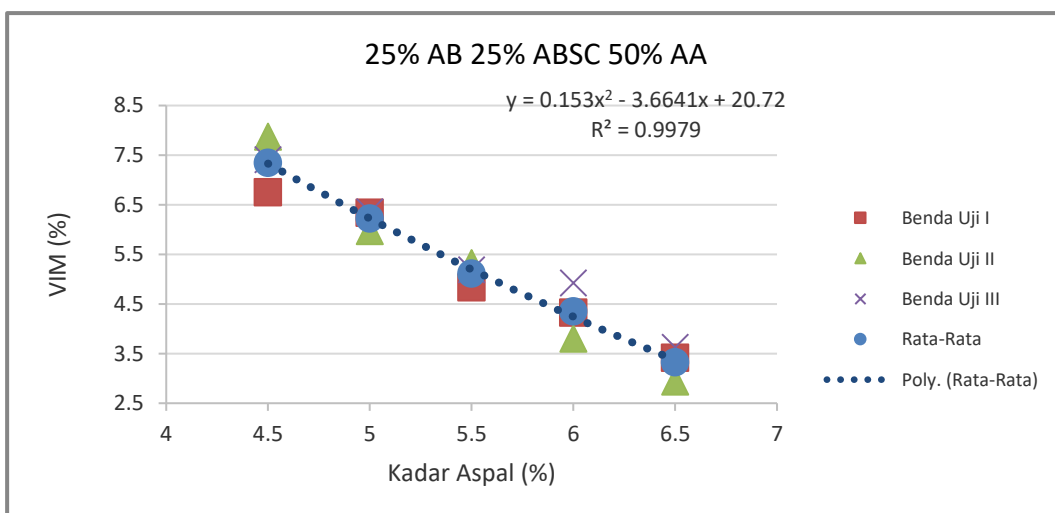
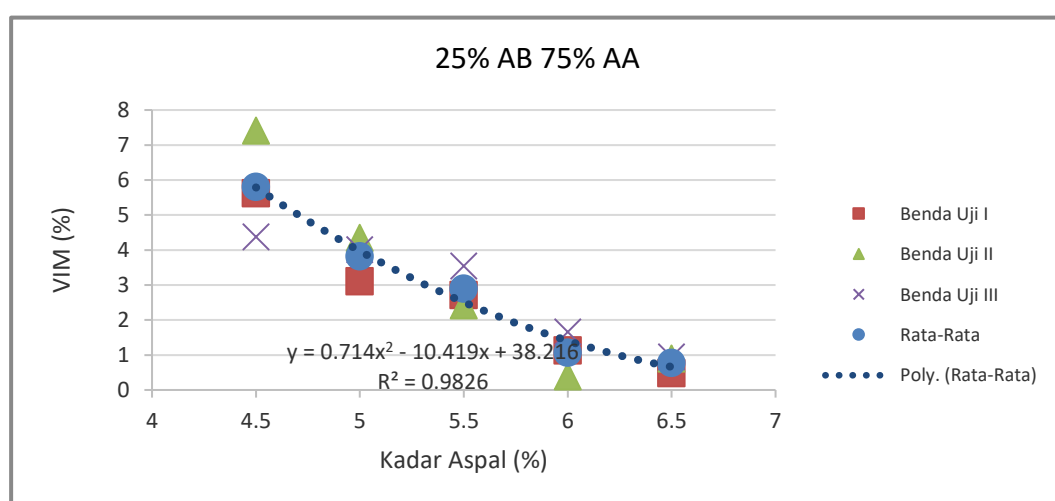
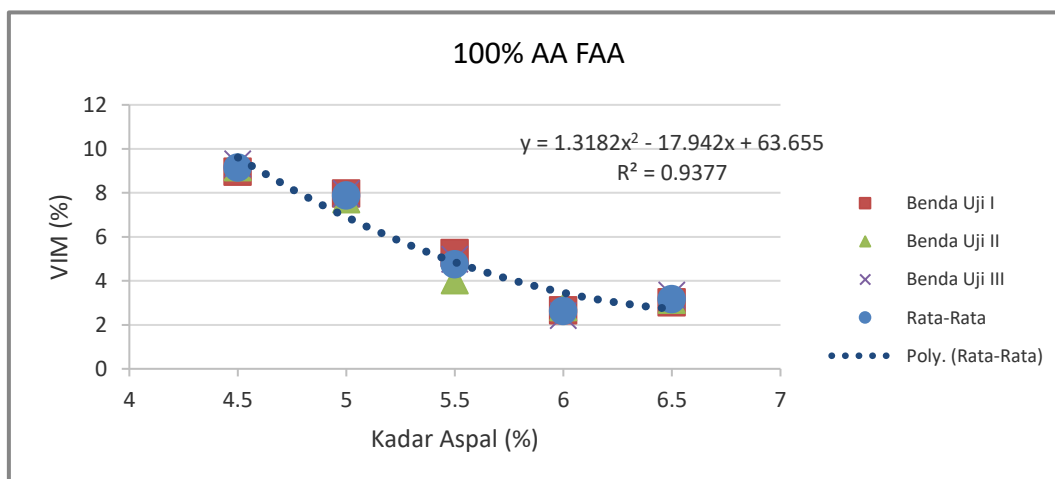




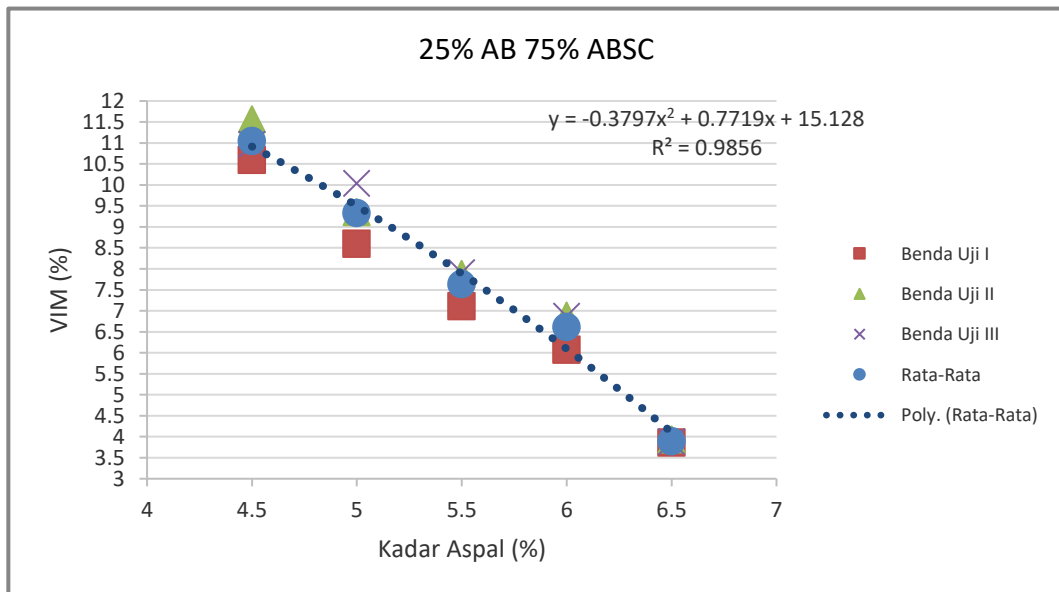
Gambar 4.7 Grafik kelelehan (mm) pada gradasi terbuka BBA

#### 4. Rongga dalam Campuran (*Voids in Mixture*)

VIM adalah banyaknya rongga atau pori dalam campuran yang dinyatakan dalam persentase terhadap volume aspal padat. VIM yang dimaksud adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. Hubungan kadar aspal dan VIM pada gradasi rapat ditunjukkan pada Gambar 4.8 :

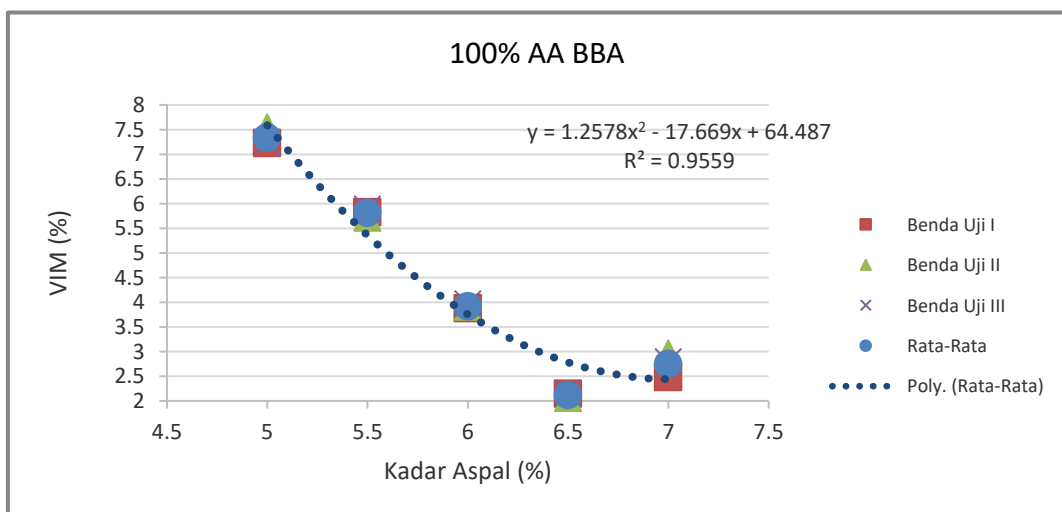


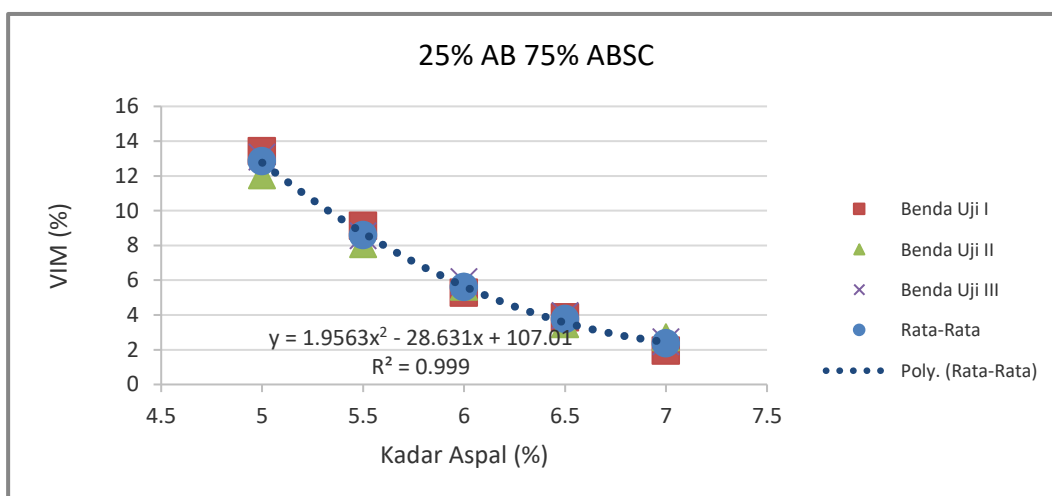
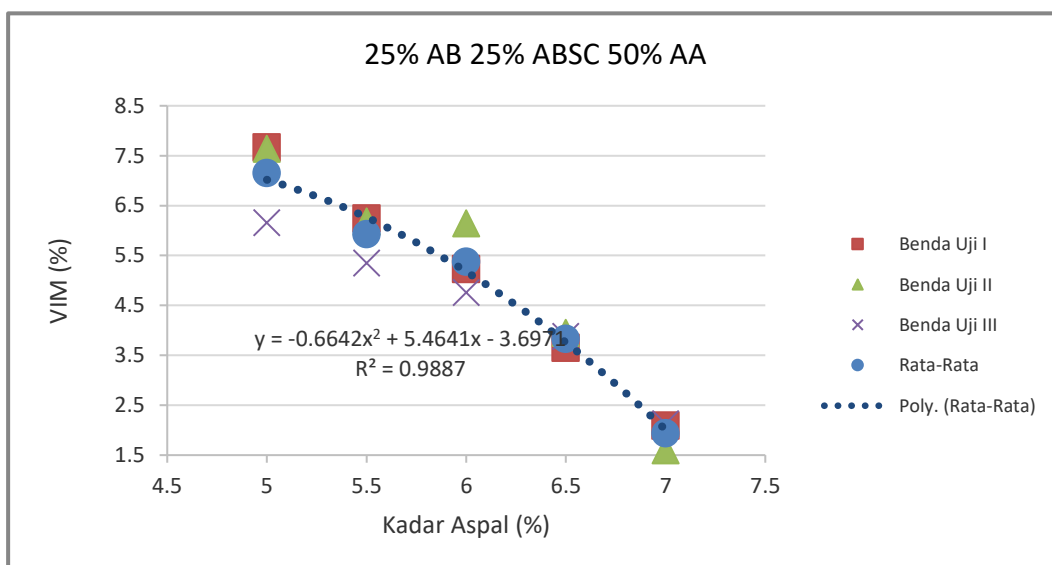
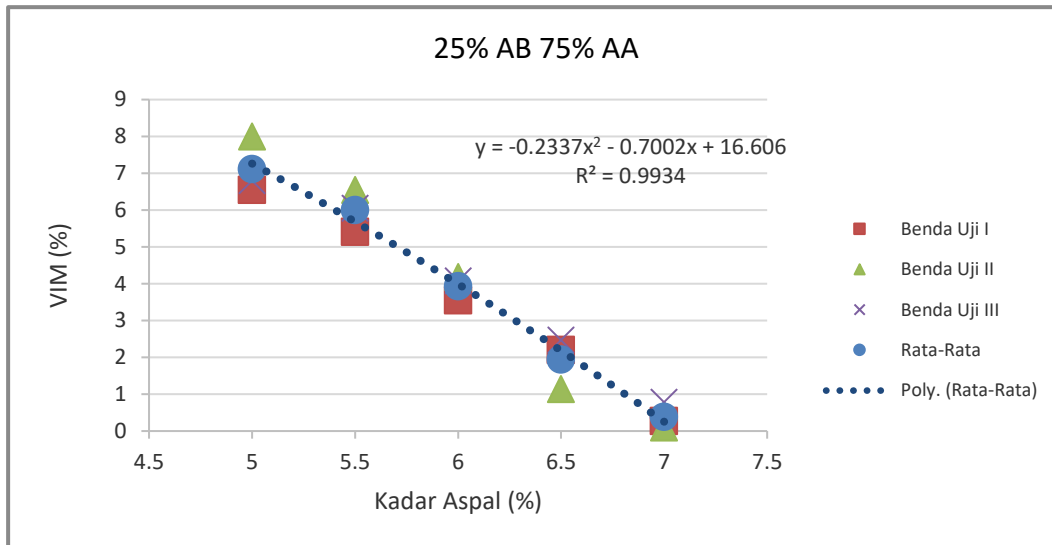




Gambar 4.8 Grafik Rongga dalam Campuran (%) pada gradasi rapat FAA

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya kadar aspal, maka nilai VIM menjadi semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa seiring bertambahnya kadar aspal, maka aspal tersebut akan mengisi rongga-rongga yang tersisa sehingga jumlah rongga semakin berkurang. Pada penggunaan agregat buatan, nilai VIM hanya memenuhi spesifikasi pada kadar aspal yang tinggi yaitu sebesar 6,5%. Persyaratan nilai VIM berkisar antara 3%-4%. Hal ini diakibatkan karena ketidakberaturan bentuk pada agregat mempengaruhi susunan butir dalam campuran, sehingga memberikan rongga yang besar pada kadar aspal yang rendah. Sedangkan untuk hasil penggunaan gradasi terbuka terhadap nilai VIM dapat dilihat pada Gambar 4.9 :



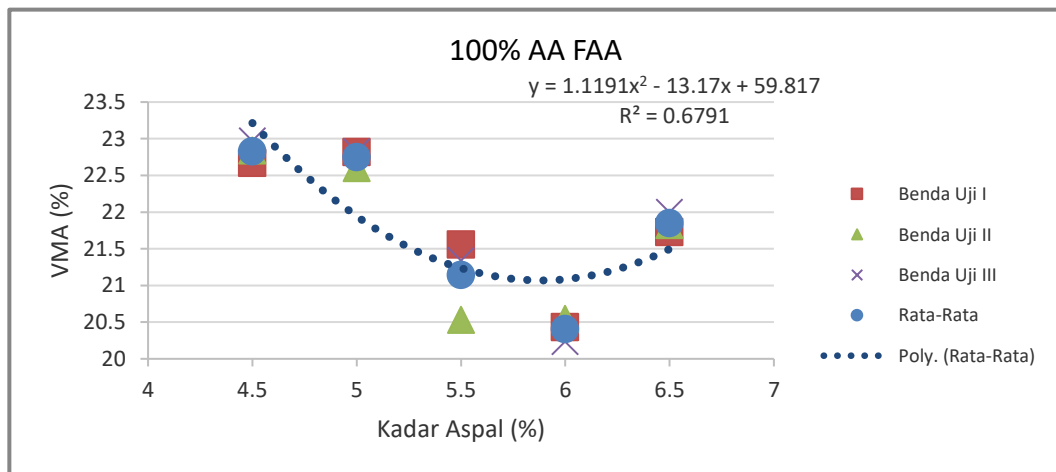


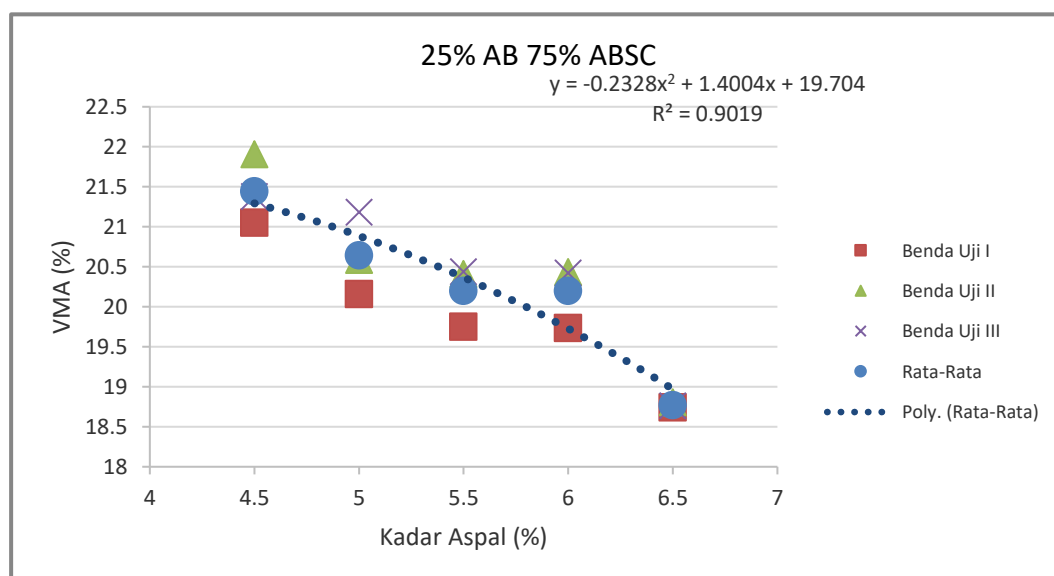
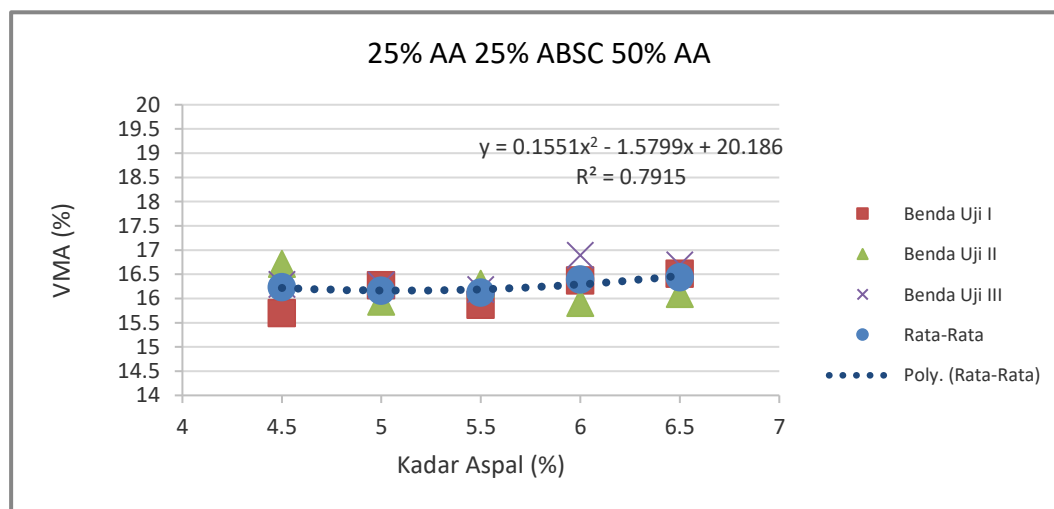
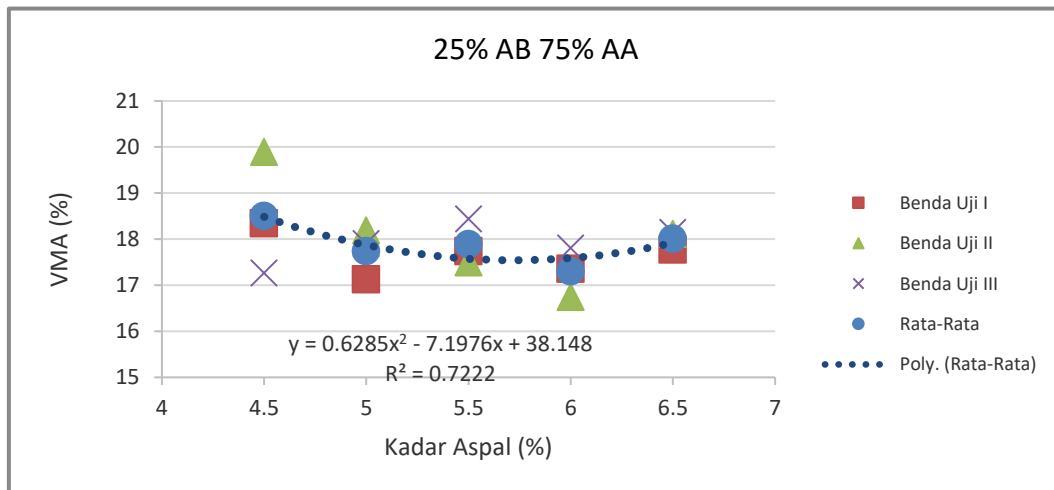
Gambar 4.9 Grafik Rongga dalam Campuran (%) pada gradasi terbuka BBA

Nilai VIM pada gradasi terbuka cenderung memiliki trend yang sama dengan gradasi rapat. Dimana seiring penambahan kadar aspal maka nilai VIM juga mengalami penurunan. Pada penggunaan agregat alam 100% hanya pada kadar aspal 7% saja yang memenuhi spesifikasi, hal ini dikarenakan penggunaan gradasi terbuka lebih memiliki fraksi agregat kecil pada campuran sehingga memberikan rongga yang besar pada campuran. Penggunaan agregat buatan dikedua variasinya, hanya pada kadar aspal 6,5% saja yang memenuhi syarat. nilai VIM yang tinggi akan berakibat pada keawetan campuran, rongga yang terlalu besar akan lebih mudah di isi oleh air dan udara, jika hal ini terjadi maka agregat yang ada pada campuran akan mengalami pelepasan. Namun nilai minimum VIM harus dibatasi karena VIM yang terlalu kecil memiliki potensi terjadinya *bleeding*. Hal ini disebabkan tidak tersedianya ruang yang cukup untuk menampung aspal akibat pemadatan lanjutan oleh lalu lintas dan peningkatan temperatur. Untuk itu diperlukan nilai standar dimana berdasarkan spesifikasi FAA untuk target rongga udara adalah sebesar 3,5% atau spesifikasi Kemenhub sebesar 3%-4%.

##### 5. Rongga dalam Agregat (*Voids in Mineral Aggregate*)

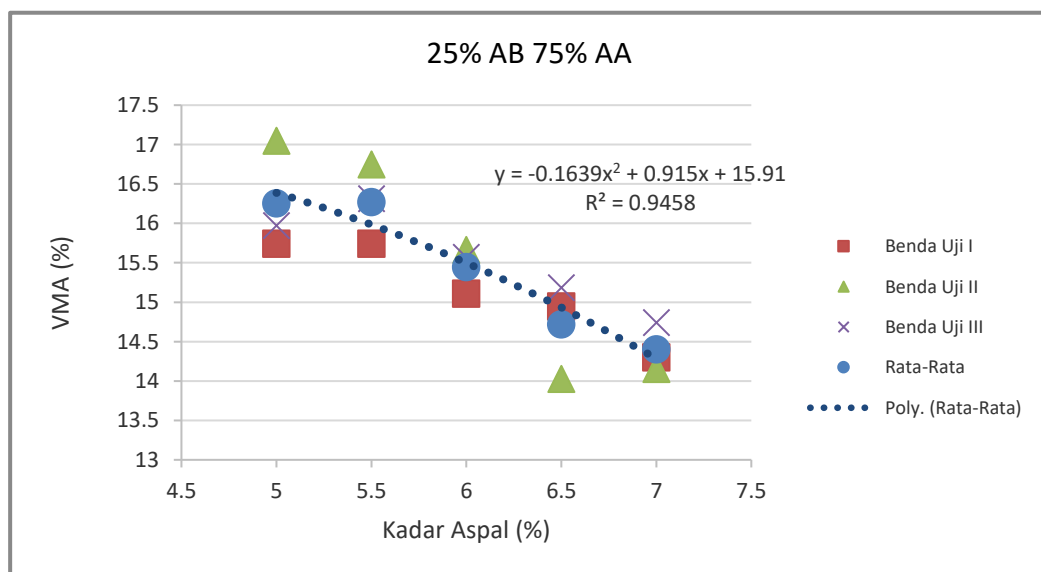
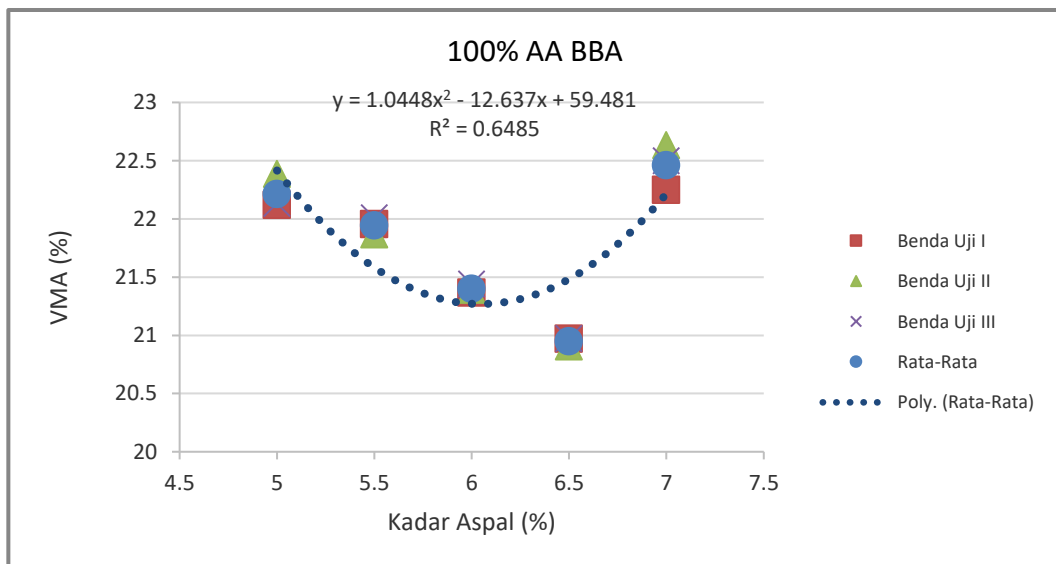
VMA adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran perkerasan, dengan kata lain VMA adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat didalam beton aspal padat. VMA dinyatakan dalam prosentase. Menurut spesifikasi FAA persyaratan nilai VMA adalah  $\geq 15\%$ . VMA digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga yang diperlukan dalam campuran perkerasan. Gambar 4.10 adalah nilai VMA bergradasi rapat pada tiap variasi agregat buatan dan kadar aspal :

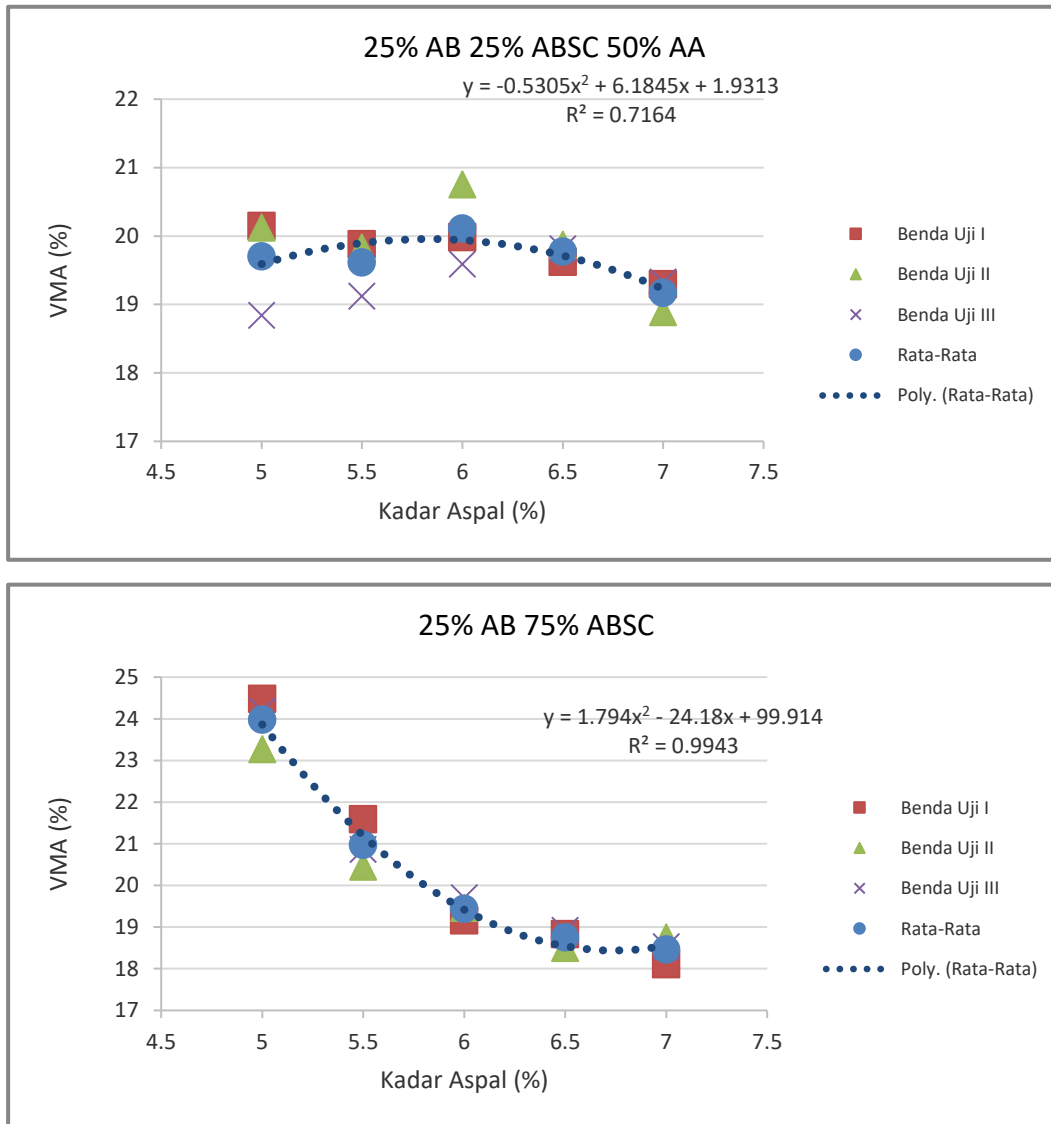




Gambar 4.10 Grafik Rongga Dalam Agregat (%) pada Gradasi Rapat

Berdasarkan Gambar 4.10 ditunjukkan bahwa semua variasi campuran bergradasi rapat memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Namun, nilai VMA pada beberapa campuran cenderung fluktuatif, hanya pada campuran variasi V3 seiring bertambahnya kadar aspal nilai VMA cenderung mengalami penurunan. nilai VMA berkaitan dengan nilai kepadatan, dimana semakin besar nilai kepadatan maka semakin kecil nilai VMA karena semakin padat suatu campuran maka rongga akan semakin kecil. nilai VMA yang mendekati nilai minimum menunjukkan bahwa campuran lebih memiliki keawetan, sedangkan nilai VMA yang tinggi akan mengakibatkan campuran memiliki deformasi yang terlalu besar. Sementara untuk campuran gradasi terbuka BBA grafik VMA nya dapat dilihat Pada gambar 4.11 :



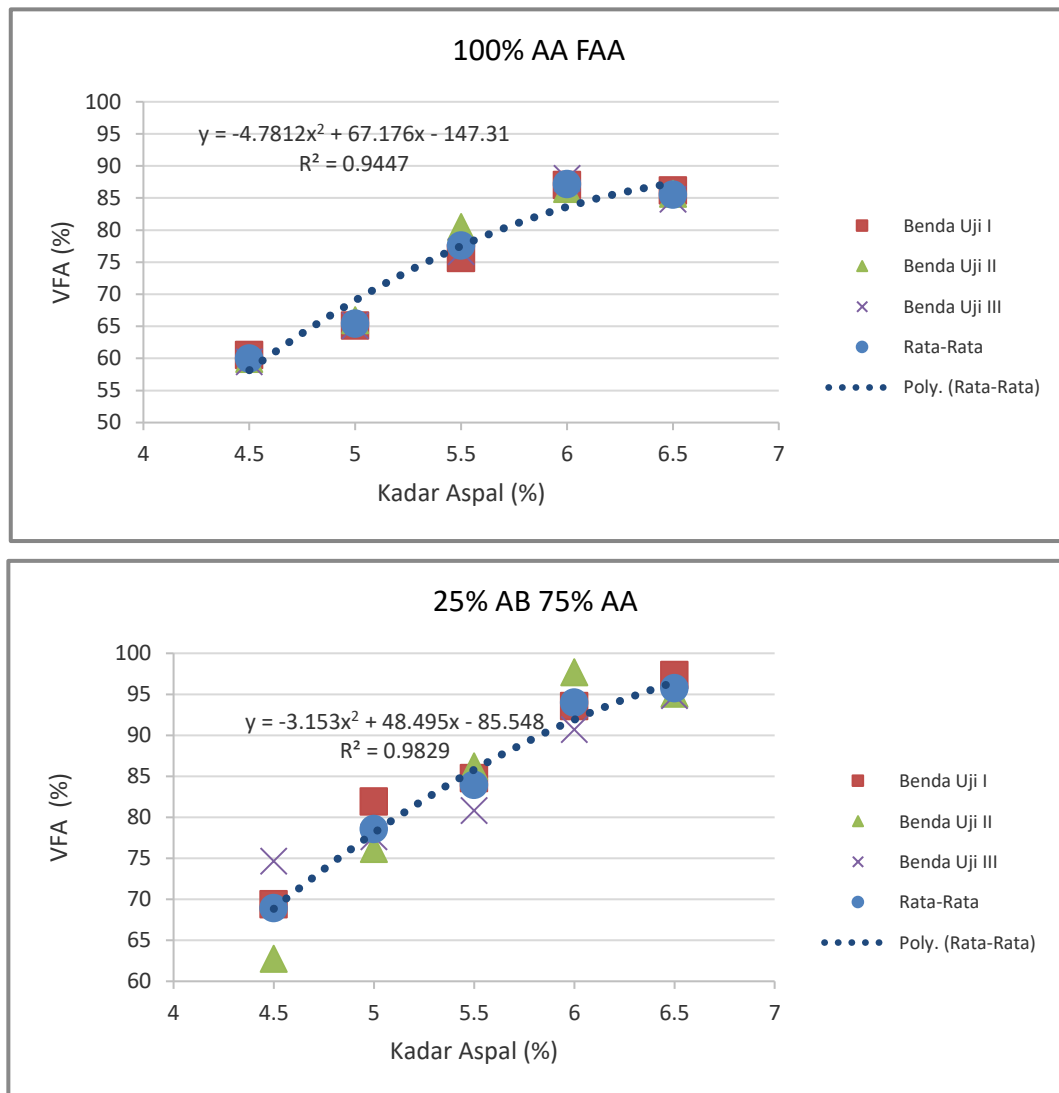


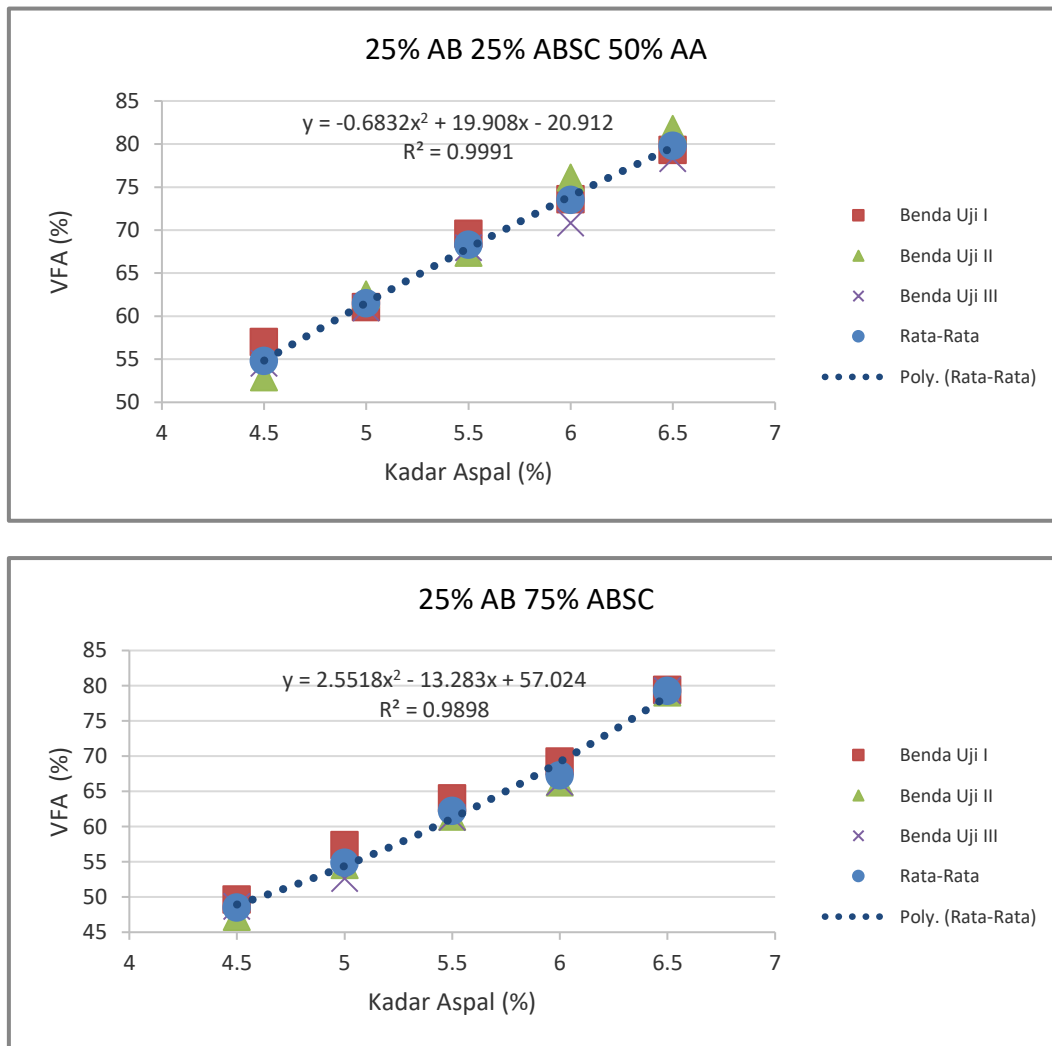
Gambar 4.11 Grafik Rongga Dalam Agregat (%) pada Gradasi Terbuka

Untuk nilai VMA pada gradasi terbuka masih memiliki trend yang terbilang fluktuatif, penggunaan agregat buatan mampu memberikan nilai vma yang mendekati batas minimum spesifikasi yang ditetapkan. Pada prinsipnya, dengan semakin meningkatnya kadar aspal, maka nilai VMA akan cenderung mengalami penurunan hingga mencapai titik minimum dan akan meningkat kembali sesuai penambahan kadar aspal yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena aspal akan memenuhi rongga antar agregat tersebut hingga rongga sudah tidak dapat diisi oleh aspal, dalam hal ini nilai VMA menjadi minimum.

## 6. Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled Asphalt*)

Banyaknya pori antara butir agregat (VMA) didalam beton aspal padat, yang terisi aspal dinyatakan sebagai VMA. Presentase pori antara butir agregat yang terisi aspal dinamakan dengan nilai. Menurut (Sukirman, 2007) nilai adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing masing butir agregat. Dengan demikian aspal yang mengisi VFA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir butir agregat dalam beton aspal. Gambar 4.12 menunjukan nilai VFA dalam variasi campuran gradasi rapat.



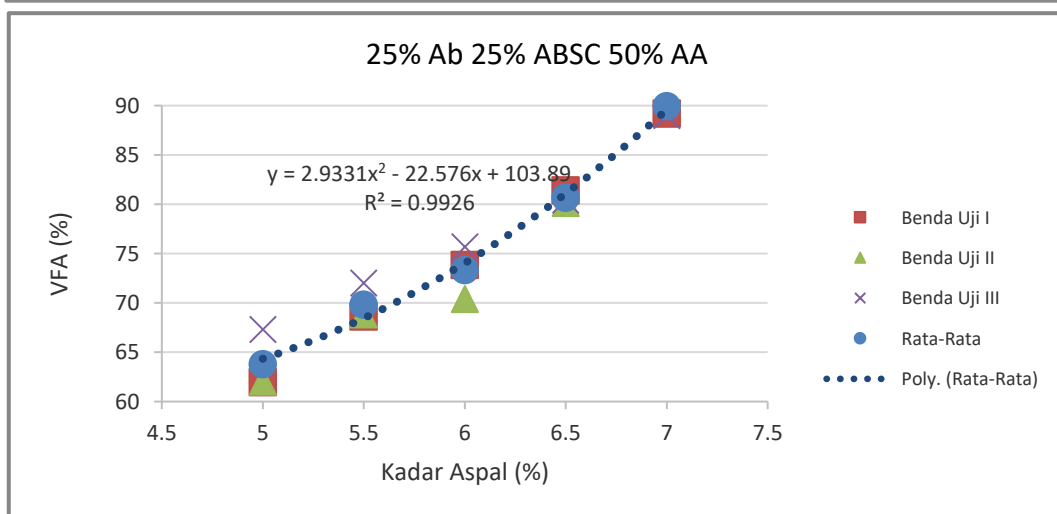
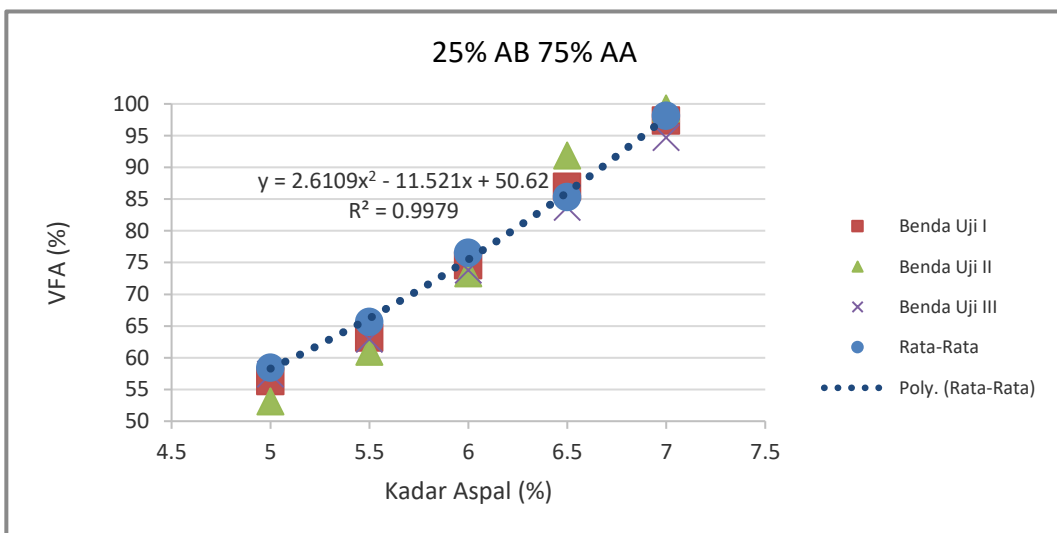
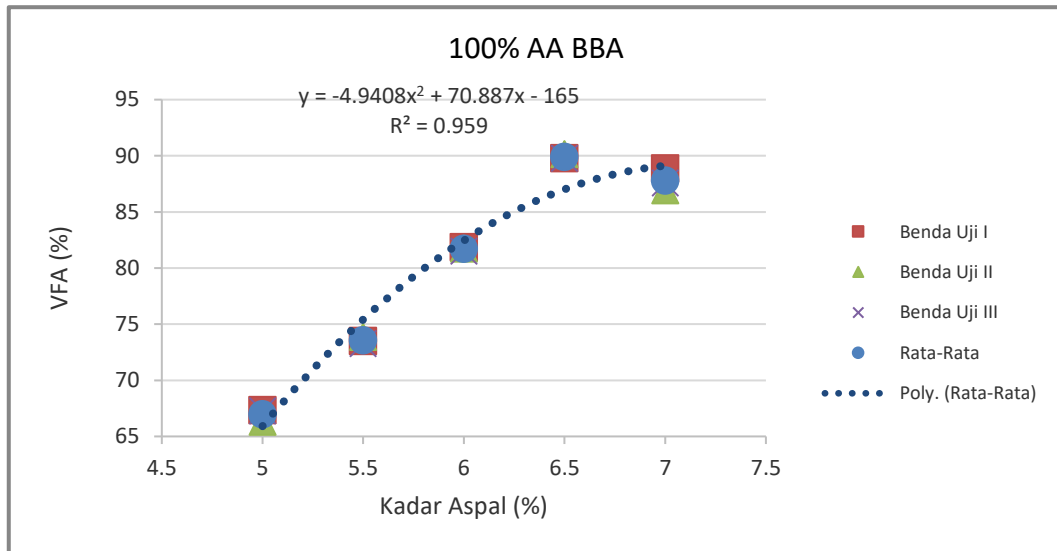


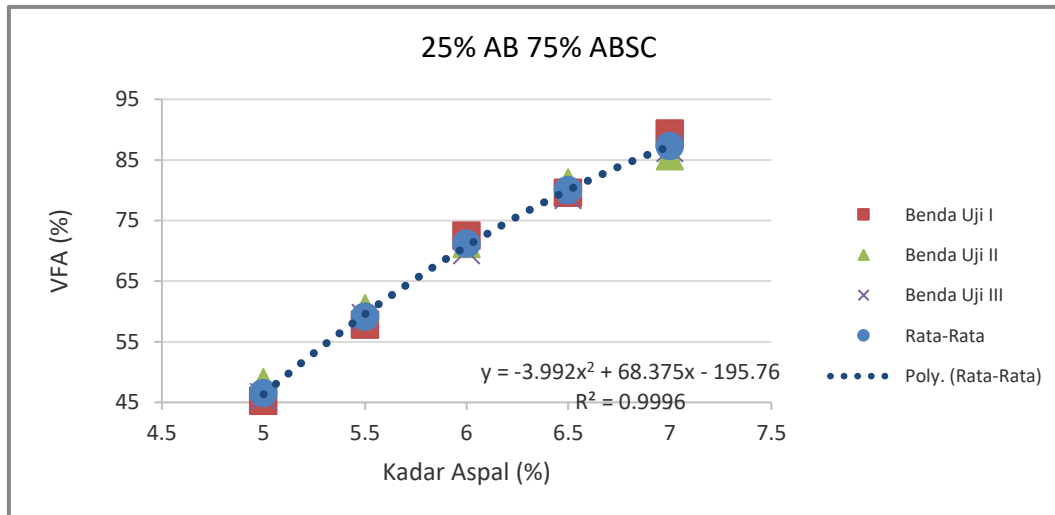
Gambar 4.12 Grafik Rongga Terisi Aspal (%) untuk Gradasi Rapat

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa campuran mempunyai nilai VFA yang meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, hal ini disebabkan rongga dalam campuran mengecil karena bertambahnya kadar aspal yang meresap dan menyelimuti butiran agregat. nilai VFA menunjukkan perbandingan jumlah kandungan aspal dan jumlah kandungan rongga didalam campuran. nilai VFA yang memenuhi spesifikasi berada pada kadar aspal yang tertinggi pada variasi agregat buatan yaitu pada kadar aspal 6,5%. nilai VFA yang rendah berarti jumlah aspal efektif yang mengisi rongga-rongga antar butir agregat sedikit, berarti rongga udaranya besar. Hal ini akan mengurangi keawetan dari campuran. Sebaliknya nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding* karena rongga antar butiran terlalu kecil. Dalam penelitian ini, persyaratan yang digunakan adalah standar



spesifikasi Kemenhub yaitu nilai VFA sebesar 76%-82%. Sedangkan nilai VFA untuk gradasi terbuka dapat dilihat pada Gambar 4.13



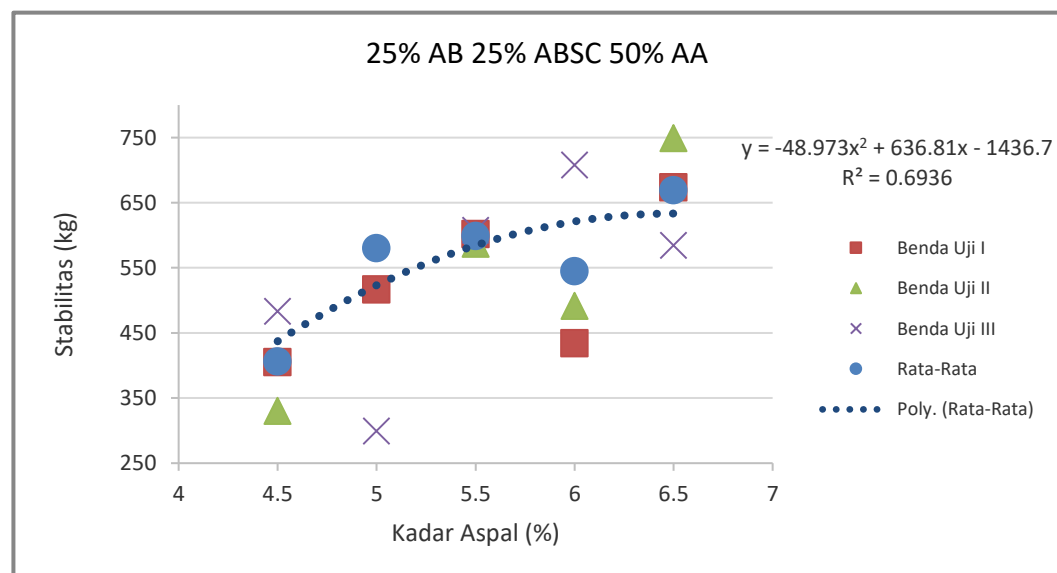
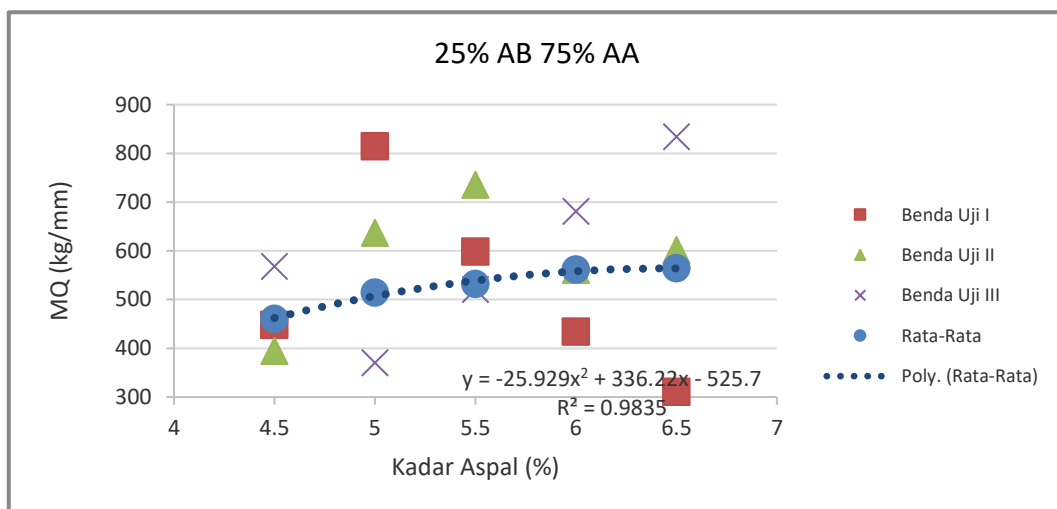
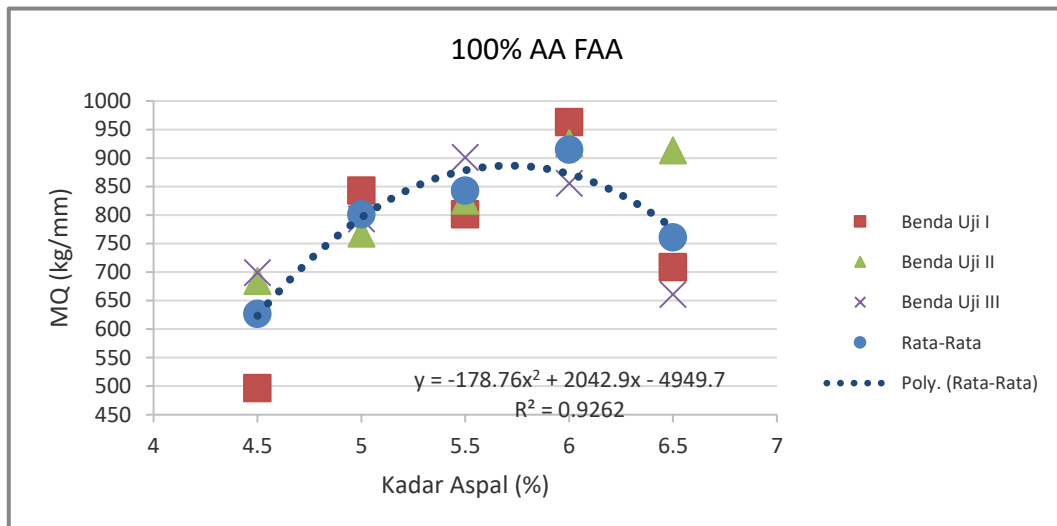


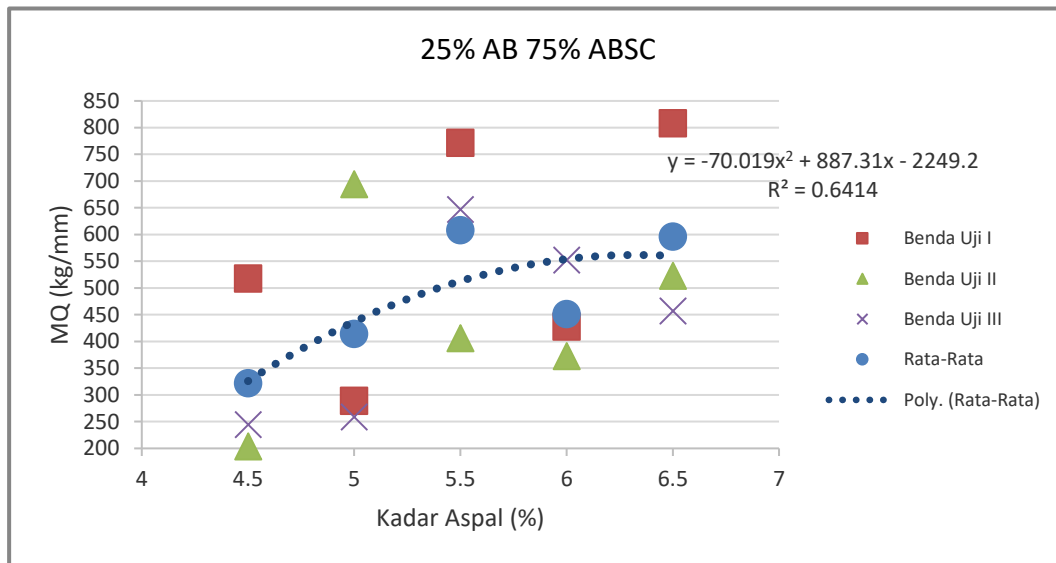
Gambar 4.13 Grafik Rongga Terisi Aspal (%) untuk Gradasi Terbuka

Pada gradasi terbuka nilai VFA juga mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Namun pada penggunaan agregat alam 100% nilai VFA turun pada titik tertentu, dan memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 7%. Sedangkan pada penggunaan agregat buatan nilai VFA yang memenuhi spesifikasi berada pada kadar aspal 6%. nilai VFA yang besar mengindikasikan banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kedapann campuran terhadap air dan udara serta elastisitas akan semakin tinggi. nilai nilai yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami *bleeding* atau naiknya aspal ke permukaan. Sedangkan nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan kedapann campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan masuk kedalam lapis perkerasan sehingga keawetan dari lapis perkerasan akan berkurang.

#### 7. *Marshall Quotient (MQ)*

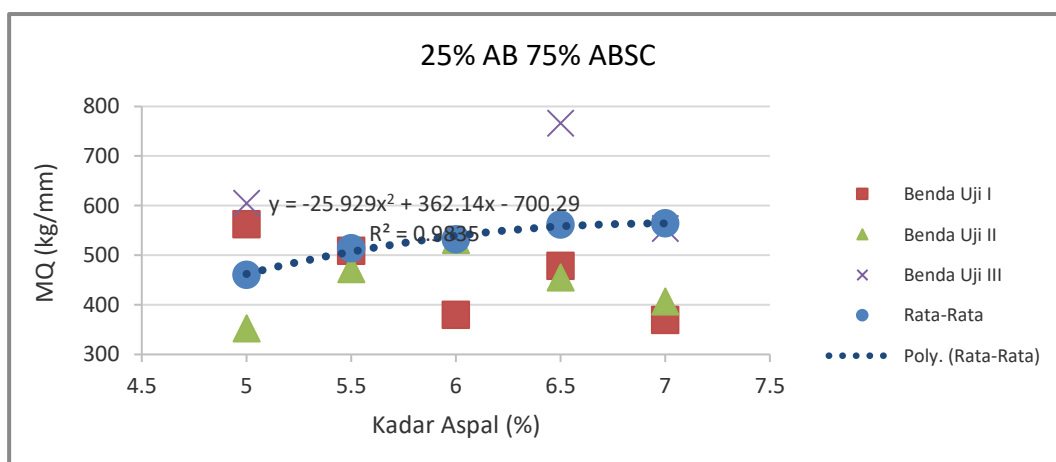
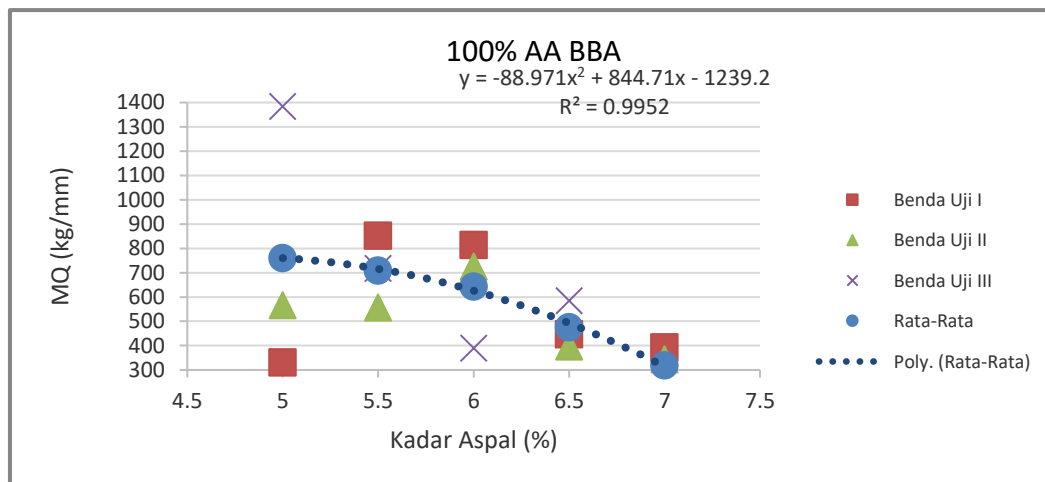
Nilai *Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient (MQ)* berarti campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil *Marshall Quotient (MQ)* maka perkerasannya semakin lentur. Grafik nilai MQ pada gradasi rapat dapat dilihat pada Gambar 4.14.

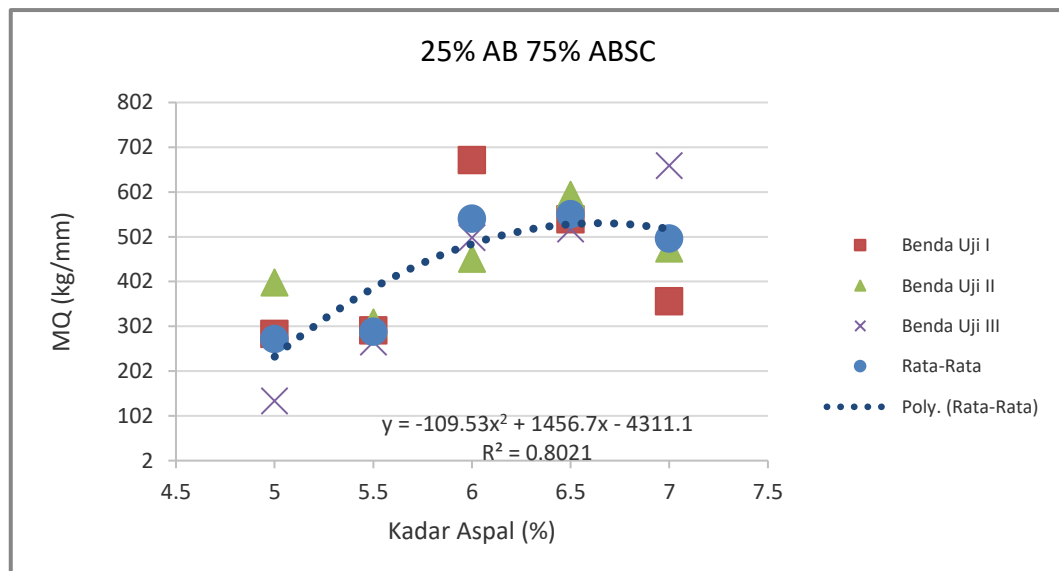
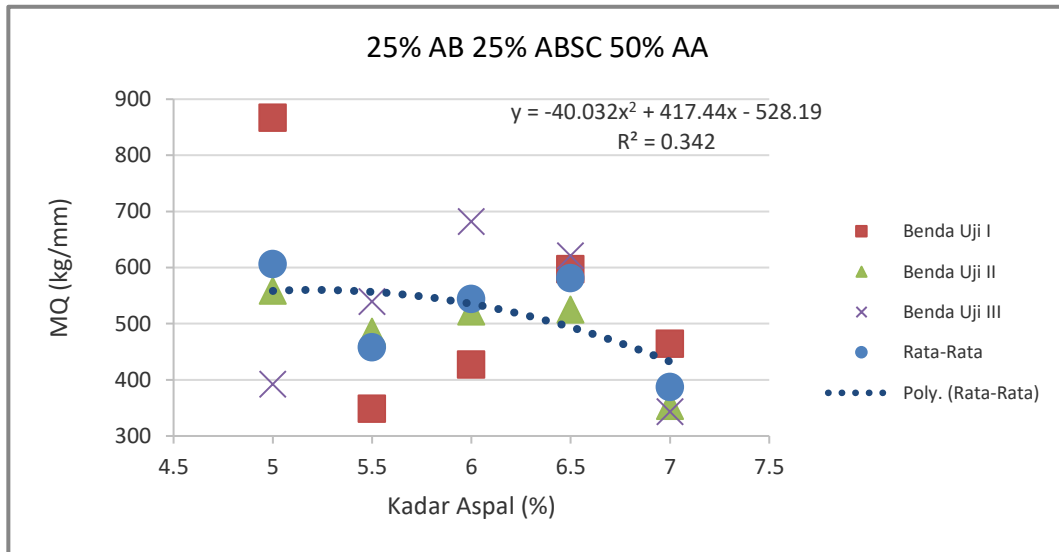




Gambar 4.14 Grafik *Marshall Quotient* pada Gradasi Rapat

Dari Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa campuran gradasi rapat pada semua variasi agregat buatan telah memenuhi syarat spesifikasi yaitu nilai *MQ* minimal 250 kg/mm. Untuk nilai *MQ* pada gradasi terbuka dapat dilihat pada gambar 4.15 :



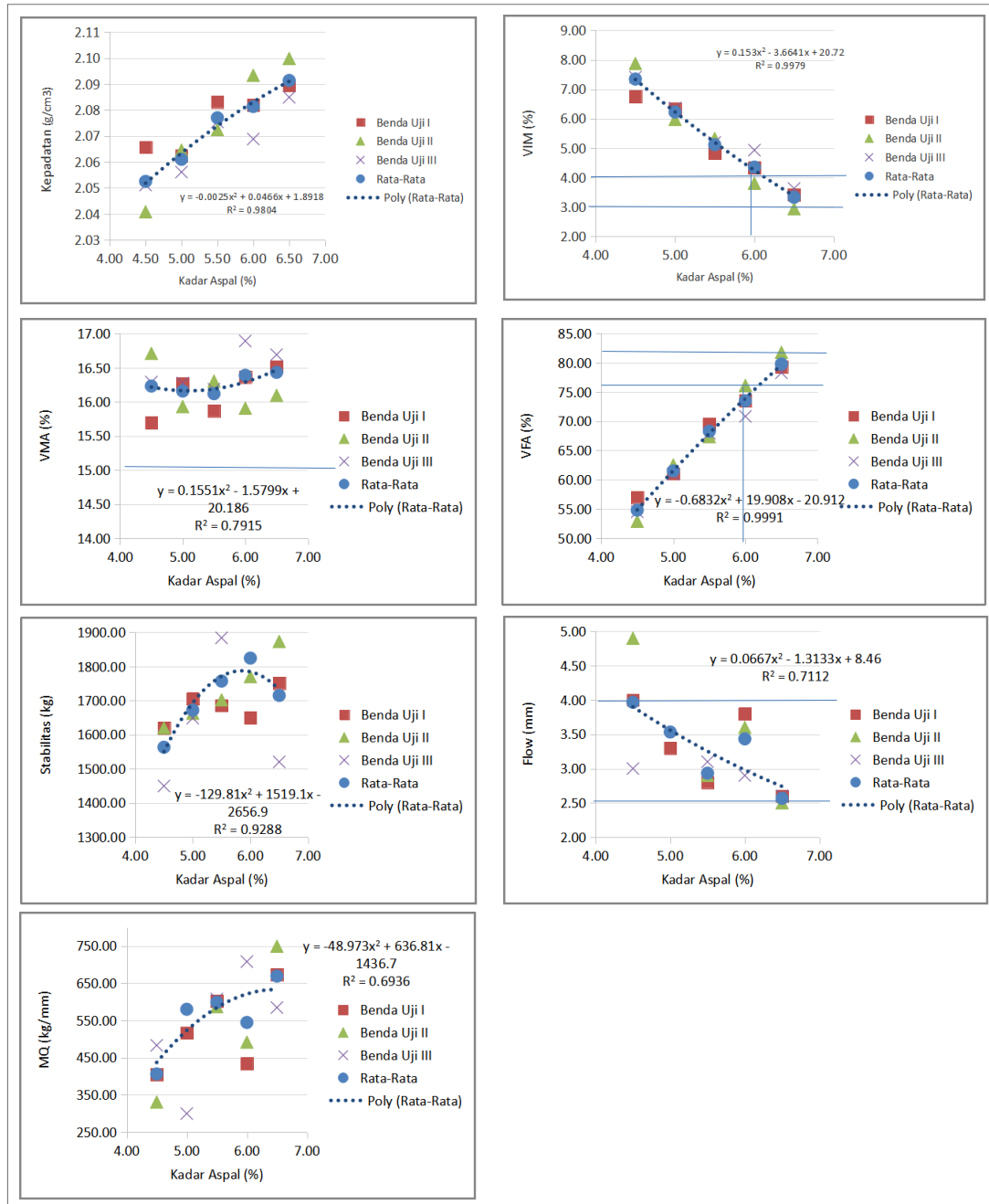


Gambar 4.15 Grafik *Marshall Quotient* pada Gradasi Terbuka

Pada gradasi terbuka nilai *MQ* juga memenuhi persyaratan pada semua variasi kadar aspal dan agregat buatan. Campuran yang memiliki nilai *MQ* yang rendah, menunjukkan campuran akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas. Sedangkan campuran yang memiliki nilai *MQ* tinggi cenderung bersifat kaku dan kurang lentur.

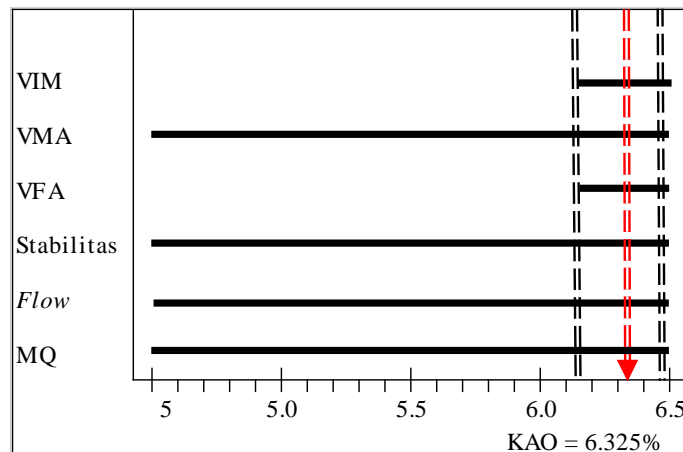
#### 4.2.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall

Berdasarkan hasil spesifikasi campuran, telah diperoleh data-data untuk menentukan kadar aspal optimum suatu campuran. Kadar aspal optimum dilihat dari grafik tiap parameter Marshall yang memberikan hasil terbaik, meliputi nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, MQ, dan kepadatan. Berikut adalah rekapitulasi grafik parameter pada gradasi rapat (FAA) disemua variasi agregat buatan :



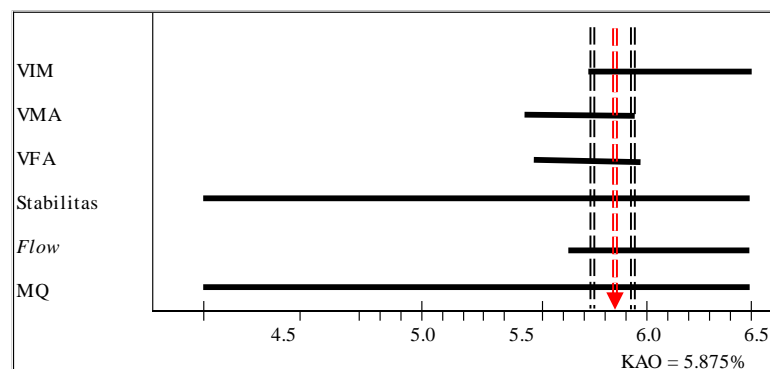
Gambar 4.16 Grafik Parameter Marshall pada Gradasi Rapat (V2)

Pada gambar 4.16 dapat dilihat seluruh parameter Marshall yang memenuhi spesifikasi. Parameter tersebut dicari nilai yang paling optimum pada kadar aspal tertentu yang memenuhi spesifikasi secara keseluruhan. Pada parameter Marshall variasi V2 25% AB 25% ABSC 50% AA dapat dilihat bahwa nilai VIM dan VFA yang memenuhi spesifikasi berada pada kadar aspal 6% - 6,4%. Oleh karena itu diperoleh kadar aspal optimum pada variasi V2 adalah sebesar 6,325%. Berikut dapat dilihat penentuan KAO nya :

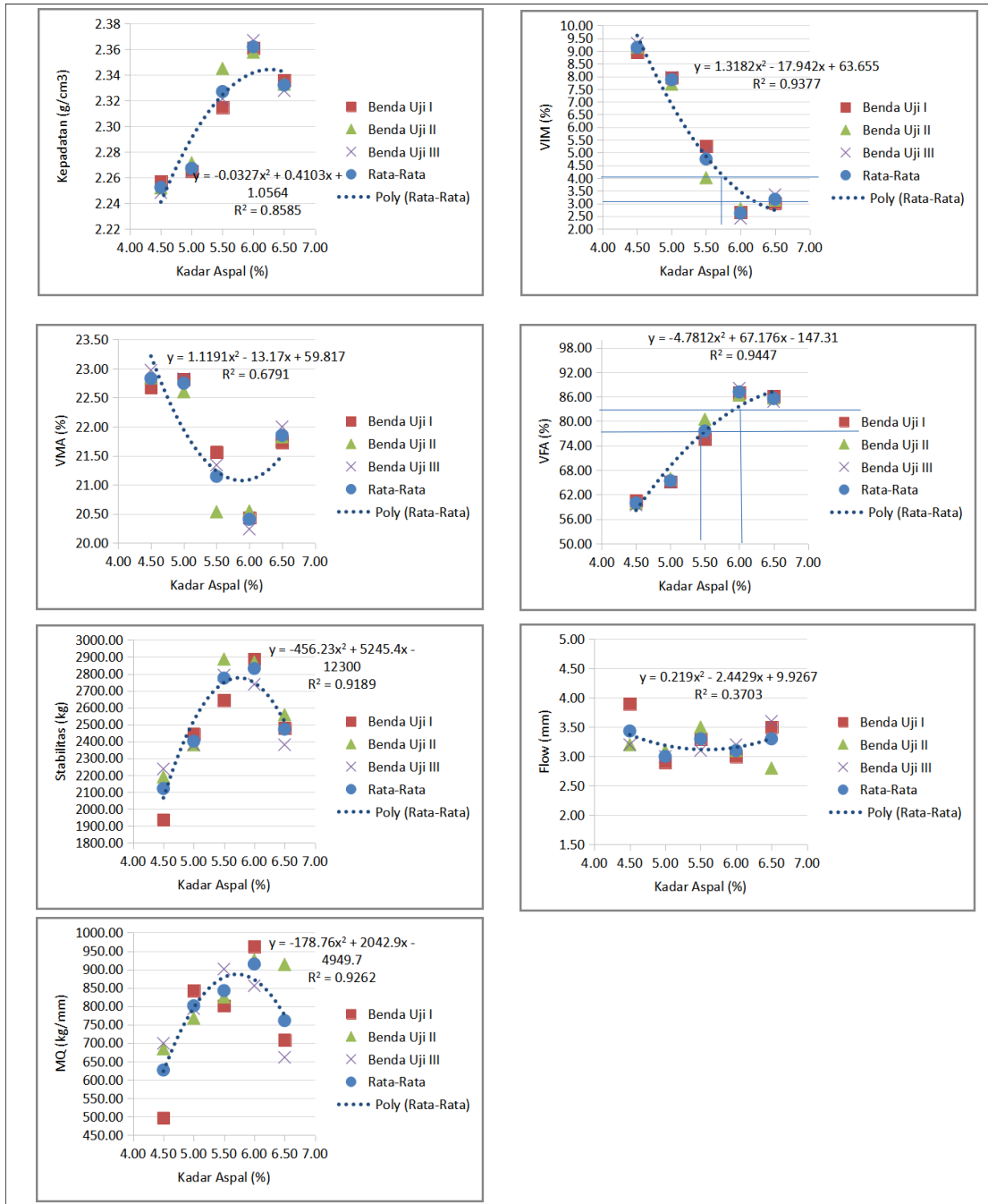


Gambar 4.18 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada Gradasi Rapat (V2)

Untuk variasi agregat alam 100% (AA) gradasi rapat ditunjukkan pada Gambar 4.20. Dapat dilihat bahwa untuk semua variasi kadar aspal telah memenuhi persyaratan parameter Marshall yang telah ditetapkan. Hanya pada nilai VIM dan VFA kadar aspal tertentu yang memenuhi persyaratan. Nilai VIM yang memenuhi persyaratan berkisar pada kadar aspal 5,8% - 6%. Sedangkan untuk nilai VFA yang memenuhi persyaratan berkisar pada rentang kadar aspal 5,5% - 5,95%. Penentuan kadar aspal optimum pada variasi 100% AA dapat dilihat pada gambar 4.19.



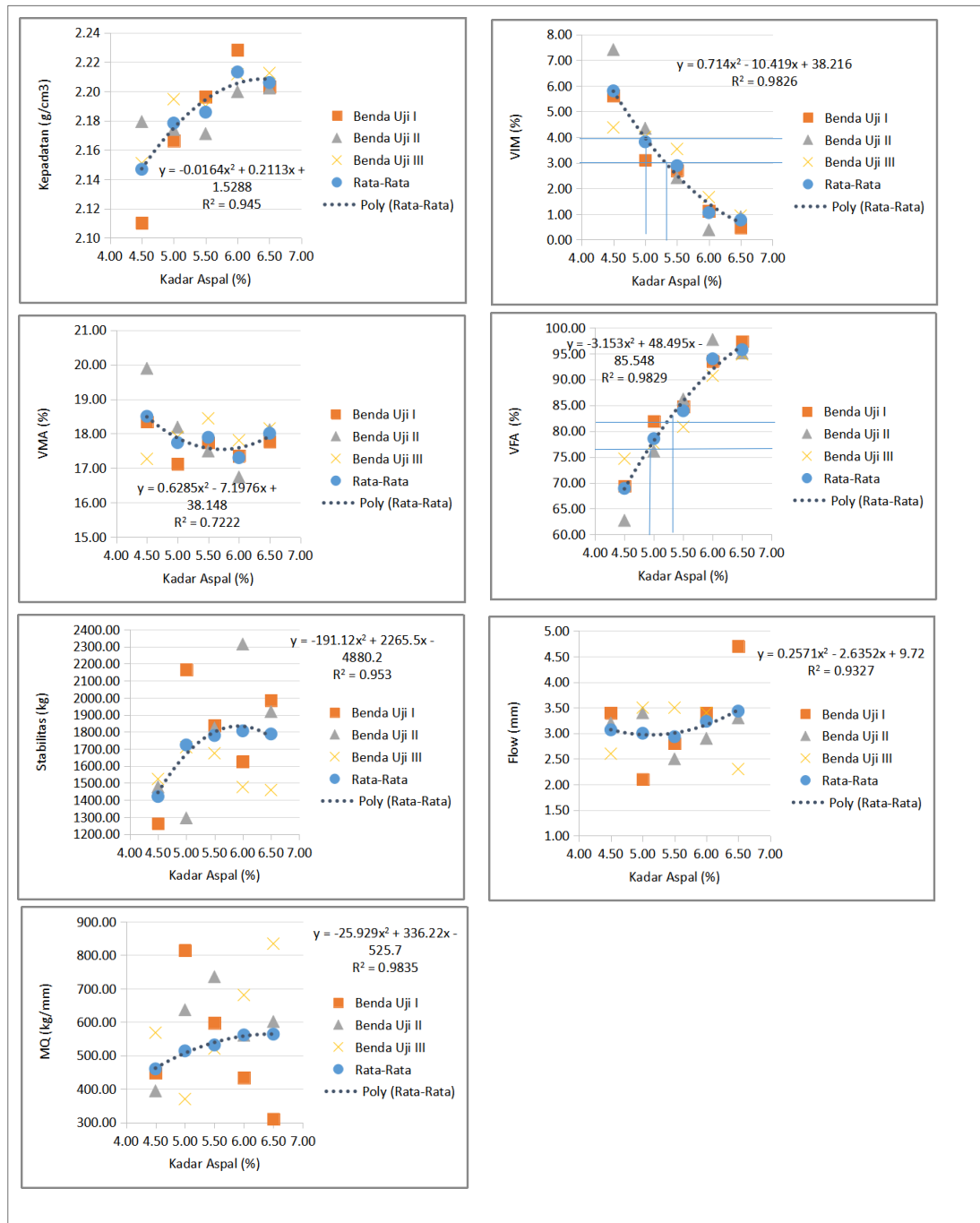
Gambar 4.19 Penentuan Kadar Aspal Optimum 100% AA Gradasi Rapat



Gambar 4.20 Grafik Parameter Marshall 100% AA Gradasi Rapat

Rekapitulasi grafik parameter Marshall untuk variasi campuran 25% AB 75% AA dapat dilihat pada Gambar 4.21

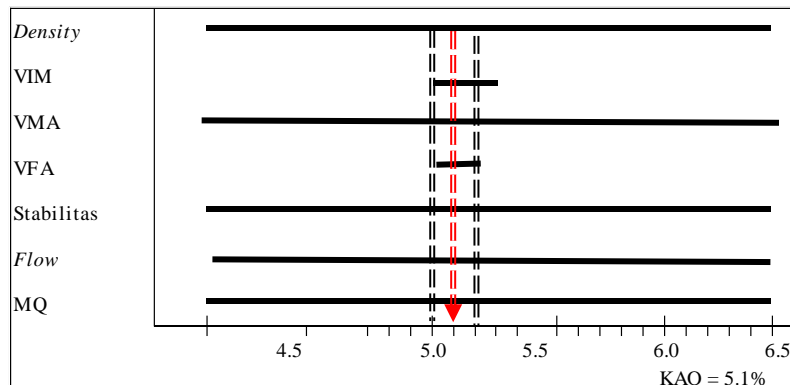




Gambar 4.21 Grafik Parameter Marshall 25%AB 75% AA Gradasi Rapat

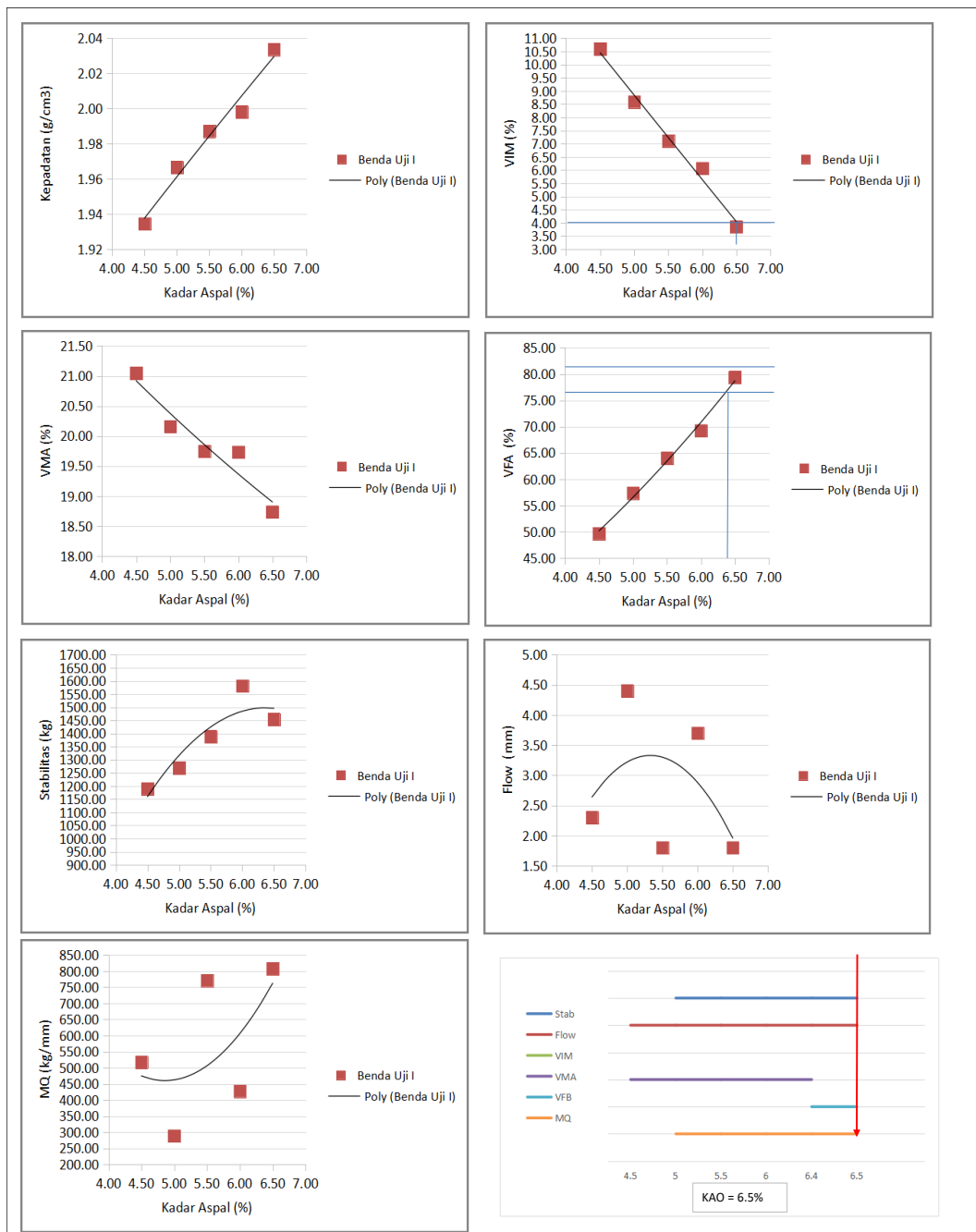
Pada Gambar 4.21 dapat dilihat parameter Marshall yang memenuhi spesifikasi. Untuk nilai stabilitas, flow, MQ, dan VMA semua variasi kadar aspal telah memenuhi spesifikasi. Kadar aspal yang memenuhi untuk nilai VIM berkisar pada rentang 5% - 5,25%, sedangkan untuk nilai VFA berkisar pada rentang kadar

aspal 5- 5,2%. Oleh karena itu diperoleh kadar aspal optimum pada campuran ini sebesar 5,1%. Untuk penentuan KAO nya dapat dilihat pada Gambar 4.22

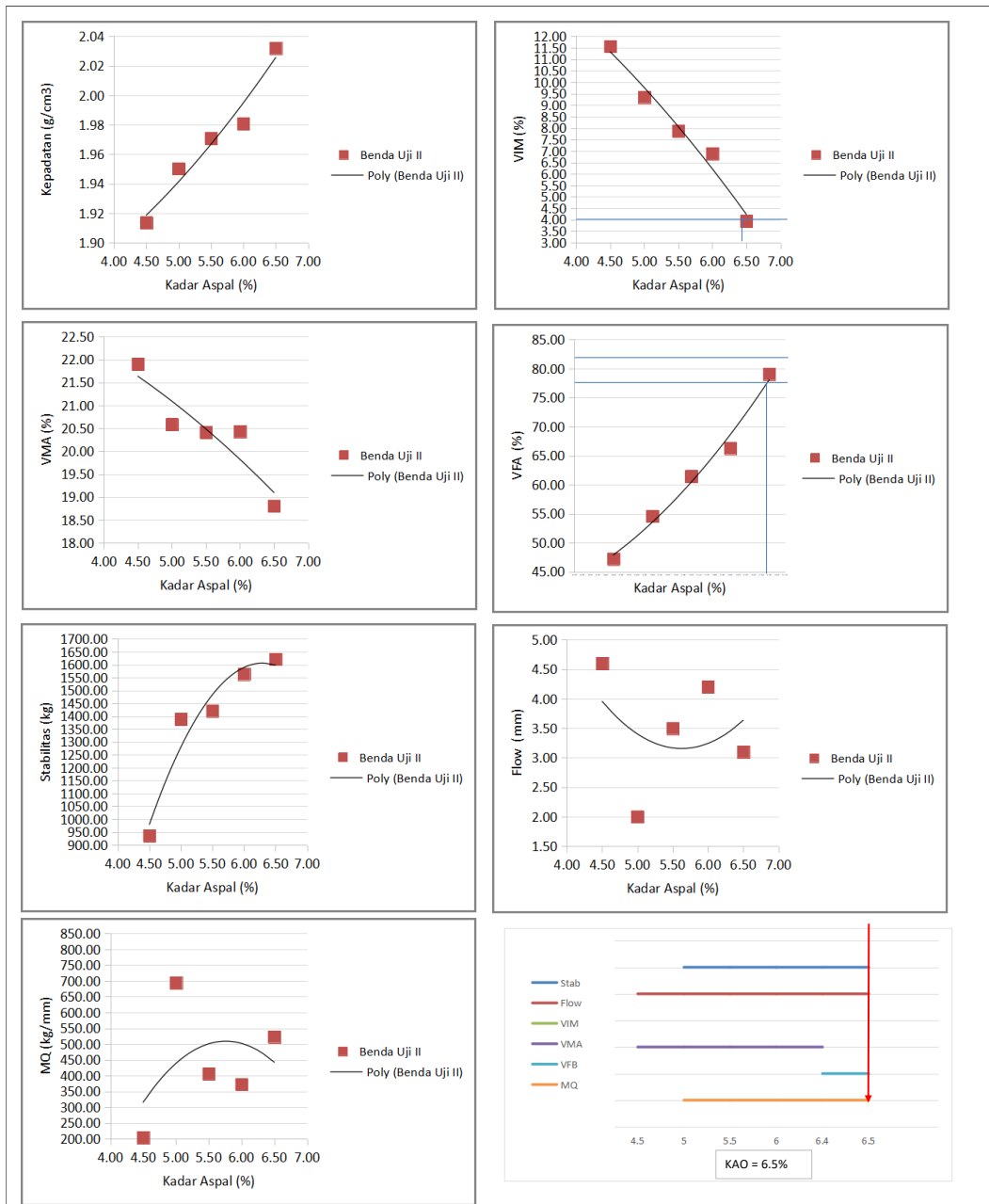


Gambar 4.22 Penentuan Kadar Aspal Optimum 25% AB 75% AA Gradasi Rapat

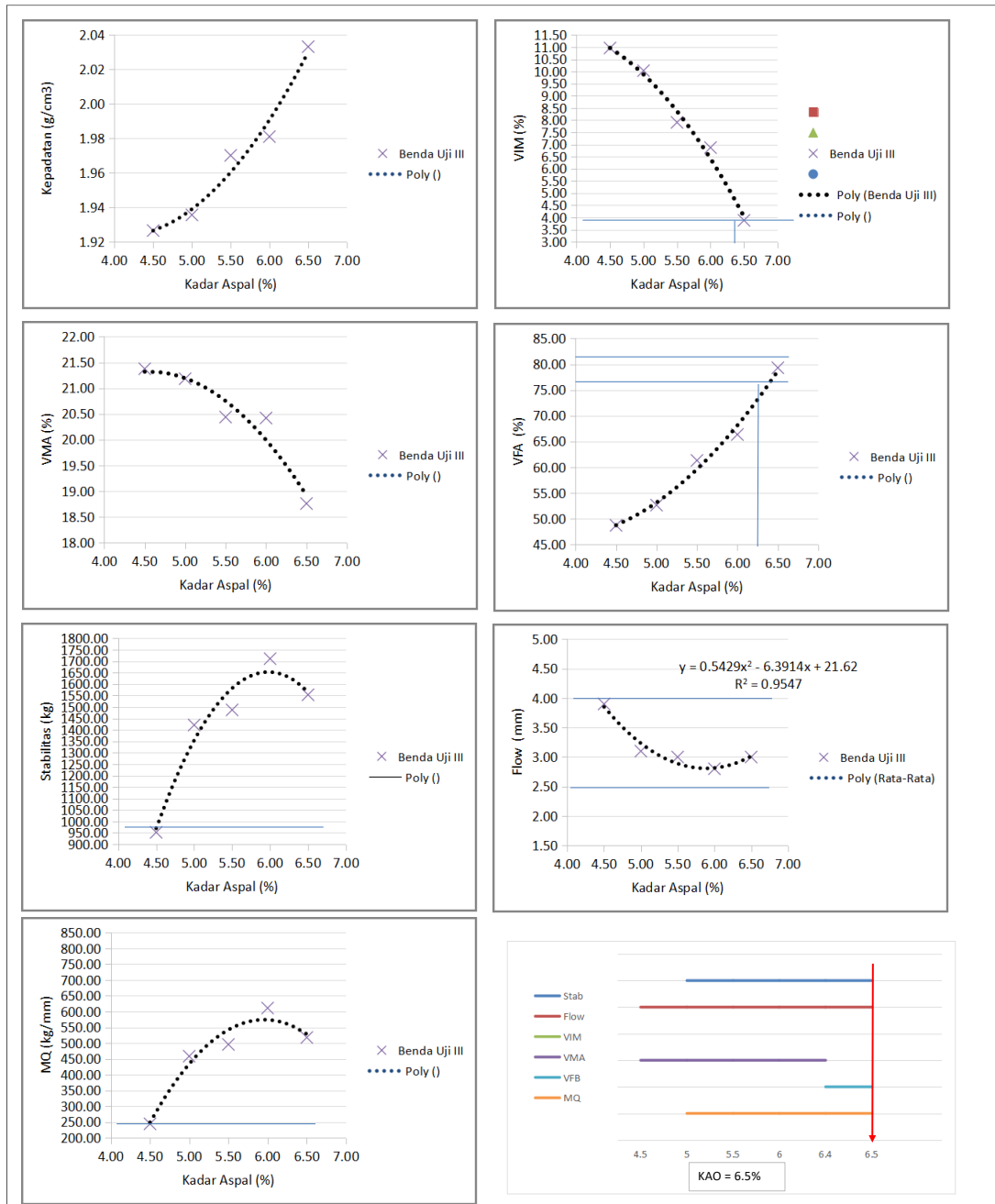
Rekapitulasi grafik parameter Marshall untuk variasi campuran 25% AB 75% ABSC dapat dilihat pada Gambar 4.23 – 4.25. Pada Gambar 4.23 dapat dilihat grafik dari tiap parameter Marshall untuk campuran 25% AB 75% ABSC pada gradasi rapat. Nilai VIM dan VFB yang memenuhi spesifikasi berkisar pada kadar aspal 6,5%, sementara untuk parameter yang lain semua kadar aspal telah memenuhi persyaratan. Setelah ditarik garis batas atas dan bawah pada persyaratan nilai VIM dan VFA maka diperoleh kadar aspal optimum pada campuran ini sebesar 6,5. Penentuan kadar aspal optimum untuk variasi ini menggunakan benda uji 3 pada Gambar 4.25, dikarenakan seluruh grafik parameter Marshall telah mengikuti trend Aspal Institute.



Gambar 4.23 Grafik Parameter Marshall 25%AB 75% ABSC Gradasi Rapat (1)



Gambar 4.24 Grafik Parameter Marshall 25%AB 75% ABSC Gradasi Rapat (2)

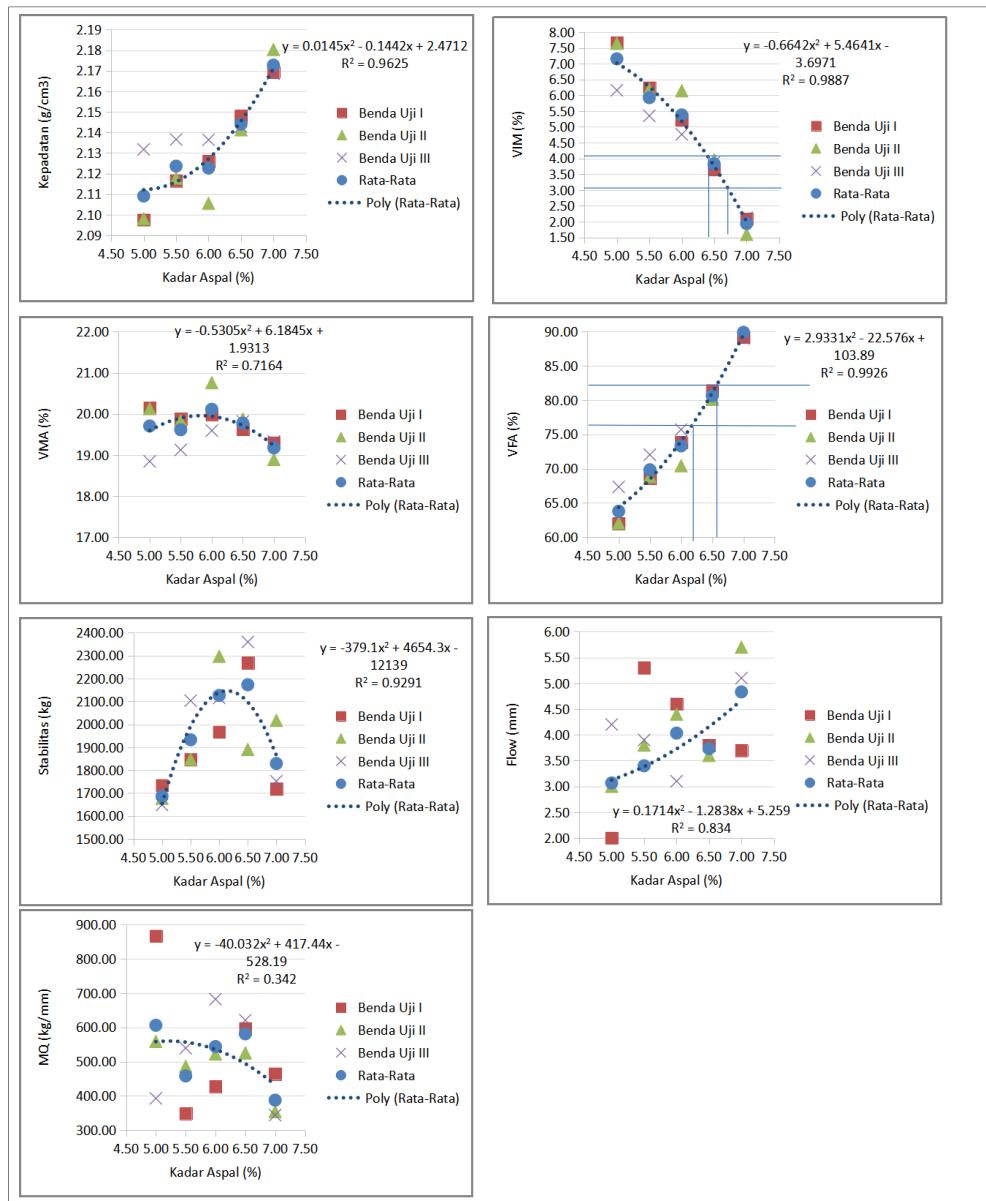


Gambar 4.25 Grafik Parameter Marshall 25%AB 75% ABSC Gradasi Rapat (3)

Untuk variasi campuran yang menggunakan gradasi rapat memiliki kadar aspal optimum yang berbeda beda, penggunaan 100% AA memiliki KAO sebesar 5,875%, variasi 25% AB 75%AA sebesar 5,1%, sedangkan variasi 25%AB 75% ABSC sebesar 6,5%. Kadar aspal optimum yang berbeda pada tiap penggunaan agregat buatan ini menunjukan, penambahan presentase agregat buatan stone crusher memiliki kadar aspal yang tinggi. Hal ini dikarenakan berat jenis dan

penyerapan yang berbeda dibanding agregat alam. Penyerapan yang tinggi membuat agregat buatan lebih membutuhkan kadar aspal yang tinggi untuk mampu menyelimuti seluruh lapisan agregat, sehingga memberikan daya interlocking yang kuat.

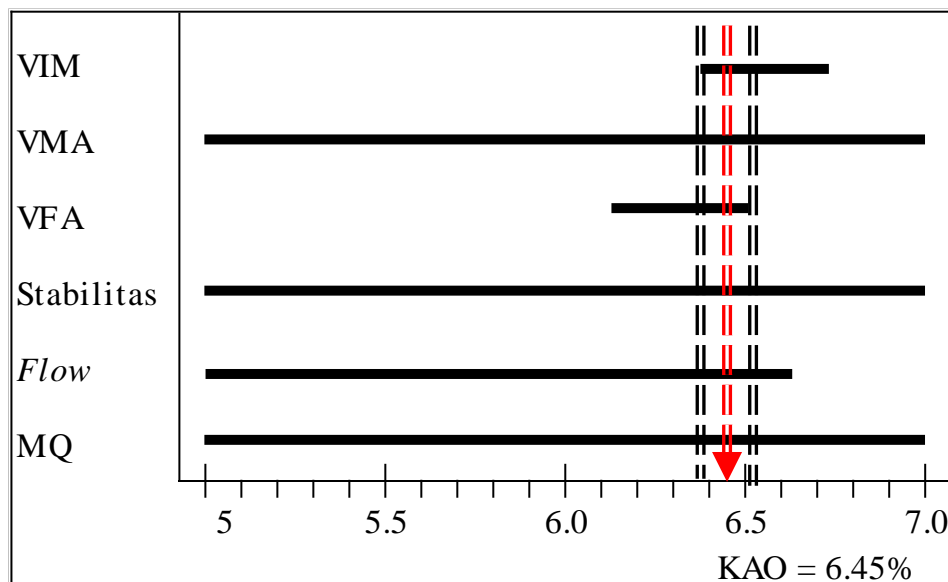
Penggunaan gradasi rapat dan terbuka akan memberikan karakteristik Marshall yang berbeda. Gradasi ini akan mempengaruhi nilai kadar aspal optimum pada setiap variasi campuran. Gambar 4.26 menunjukkan grafik parameter Marshall pada variasi 25% AB 25% ABSC 50% AA.



Gambar 4.26 Grafik Parameter Marshall pada Gradasi Terbuka (V2)

Gambar 4.26 menunjukkan parameter Marshall pada gradasi terbuka. Pada variasi V2 nilai stabilitas, VMA, dan MQ telah memenuhi seluruh spesifikasi ditetapkan. Sedangkan pada VIM, kadar aspal yang memenuhi persyaratan berkisar pada 6,4% - 6,7%, untuk nilai VFA kadar aspal yang memenuhi berkisar pada 6,1% - 6,5%, sementara nilai flow hanya kadar aspal 7% saja yang tidak memenuhi persyaratan.

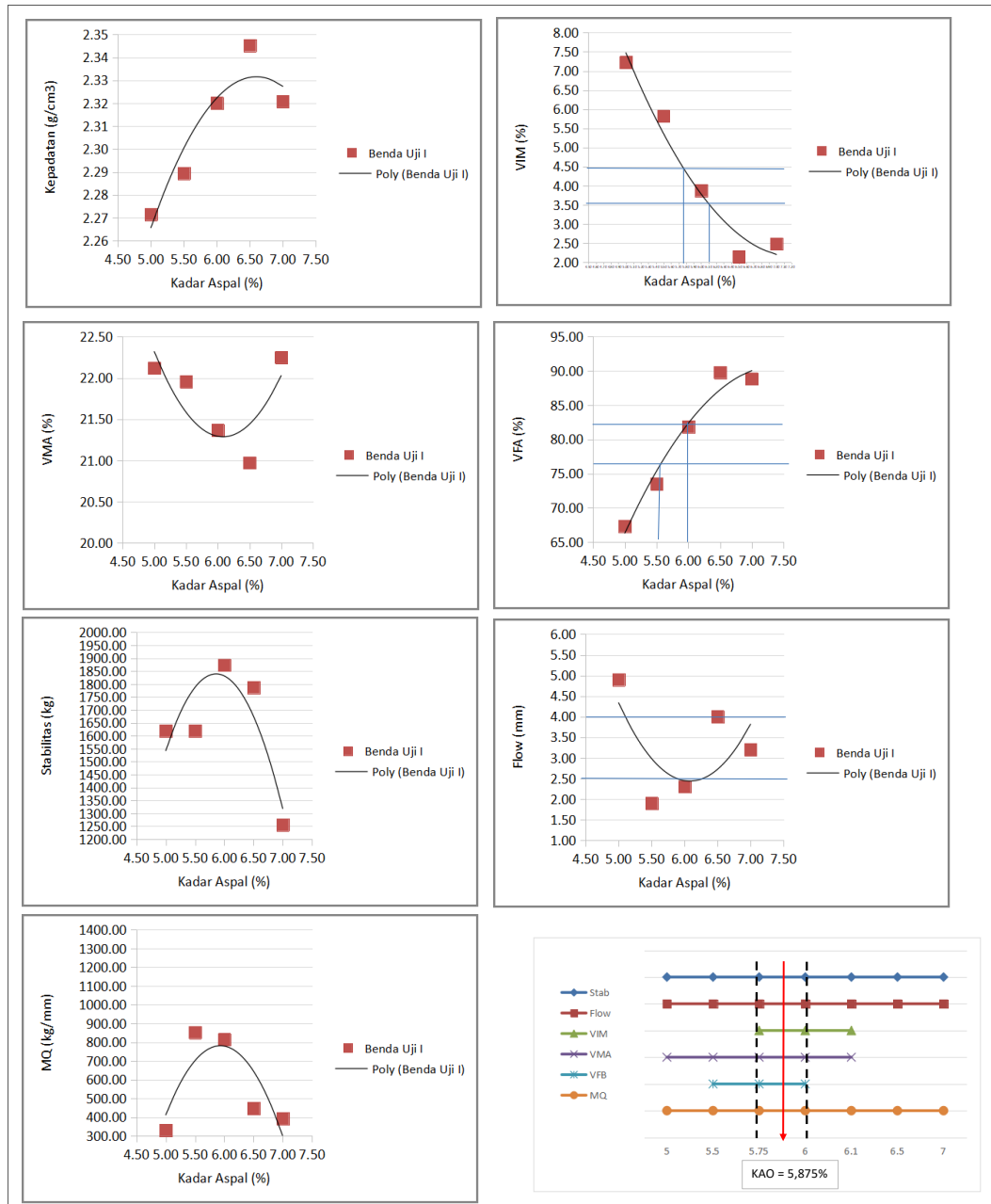
Dari hasil tersebut maka diperoleh kadar aspal optimum pada variasi V2 BBA adalah sebesar 6,45%. Penentuan kadar aspal optimum untuk variasi V2 dapat dilihat pada Gambar 4.27 :



Gambar 4.27 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Gradasi Terbuka (V2)

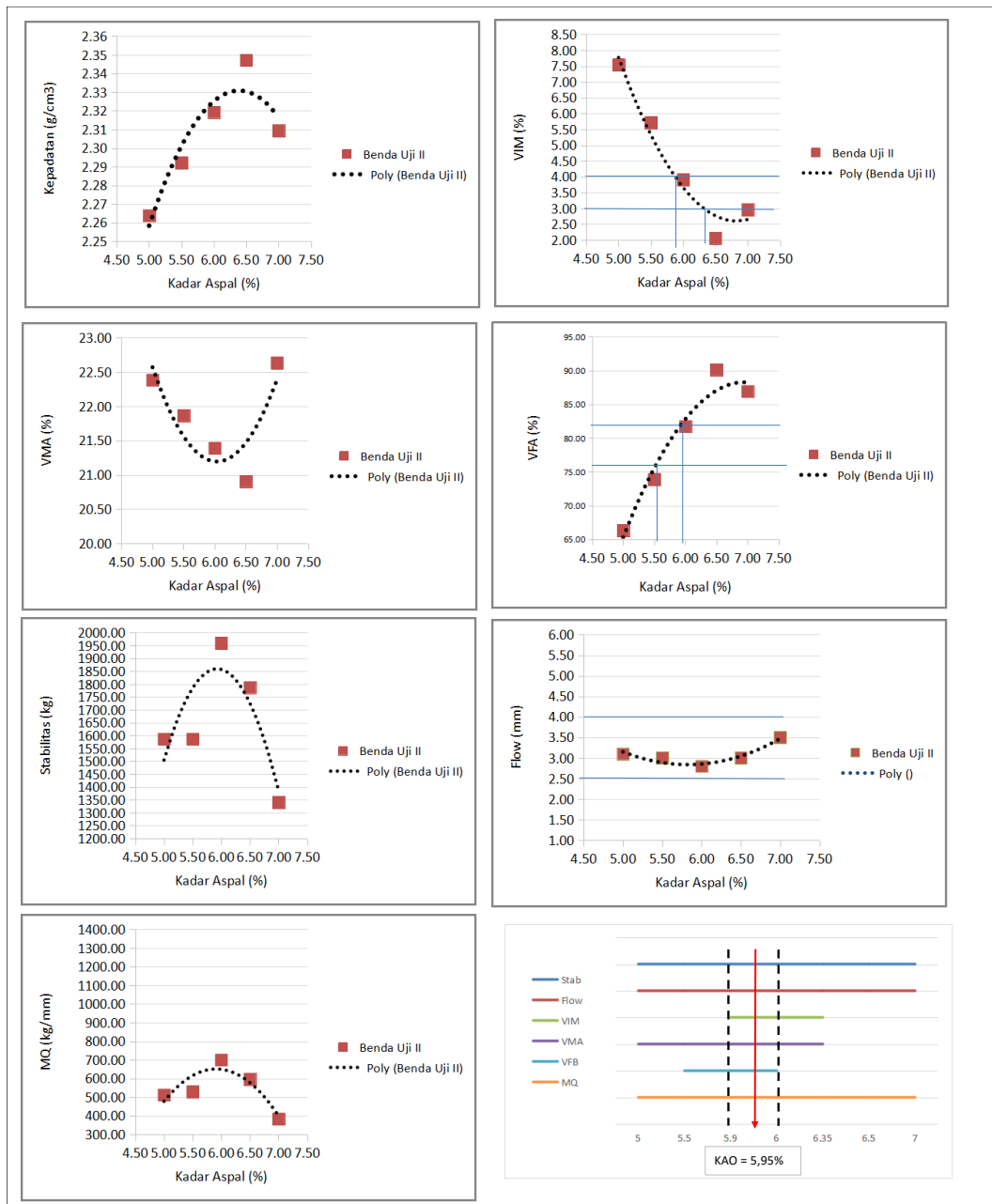
Rekapitulasi grafik parameter Marshall variasi campuran 100% AA pada gradasi terbuka dapat dilihat pada Gambar 4.28- 4.30. Nilai stabilitas, MQ, dan VMA telah memenuhi seluruh persyaratan parameter Marshall. Sedangkan untuk nilai flow hanya kadar aspal 7% saja yang tidak memenuhi. Nilai VIM yang memenuhi spesifikasi berkisar pada kadar aspal 5,9% - 6,4%. Untuk nilai VFA berkisar pada kadar aspal 5,4% - 6%. Dari rentang nilai VIM dan VFA maka diperoleh nilai pada kadar aspal optimum sebesar 5,95%. Pencarian kadar aspal optimum variasi ini menggunakan benda uji 2 pada Gambar 4.29, dikarenakan dari

ketiga sample yang dibuat hanya benda uji 2 yang mengikuti trend grafik Marshall dan memiliki nilai-nilai Marshall yang memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

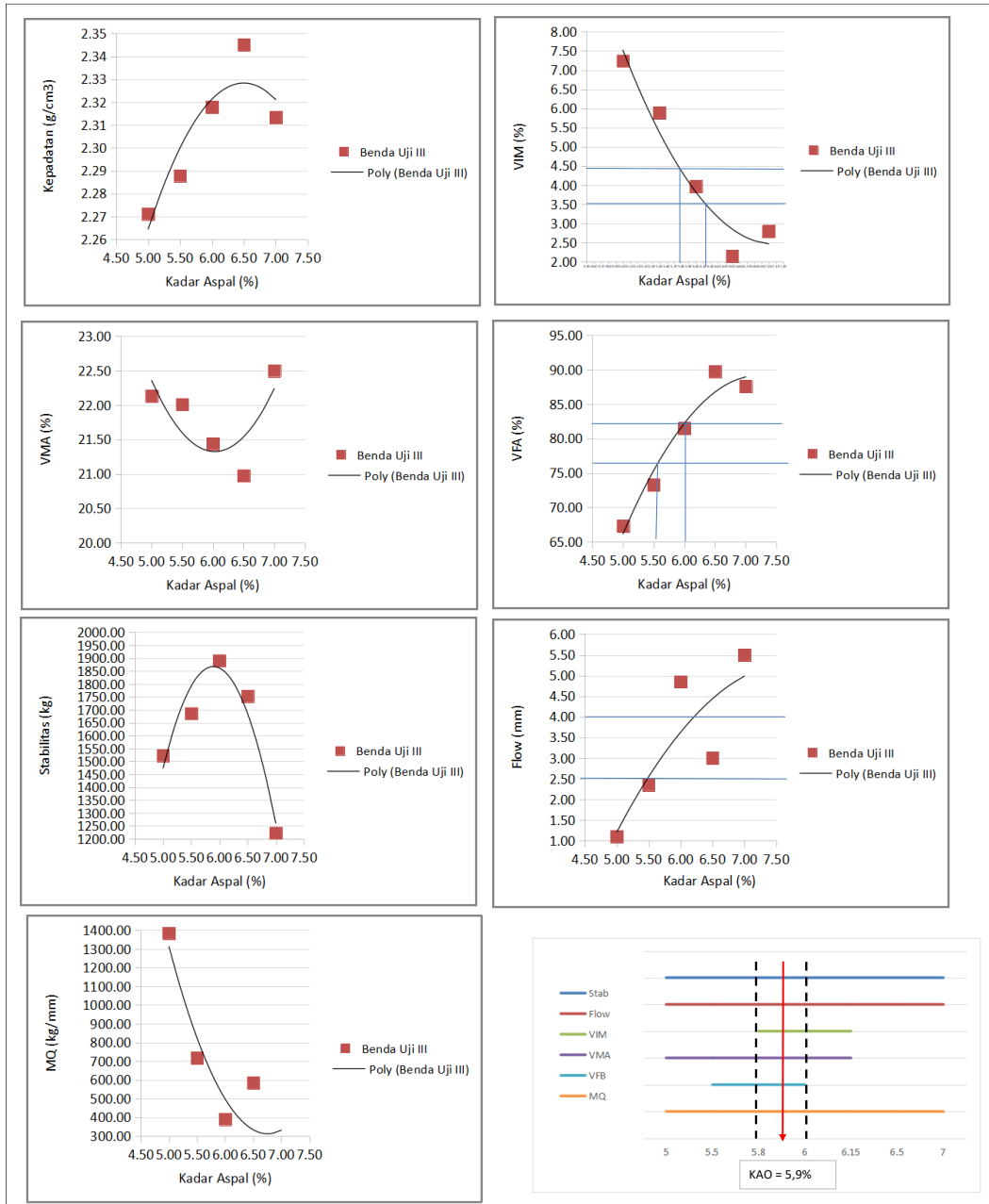


Gambar 4.28 Grafik Parameter Marshall 100% AA pada Gradasi Terbuka (1)





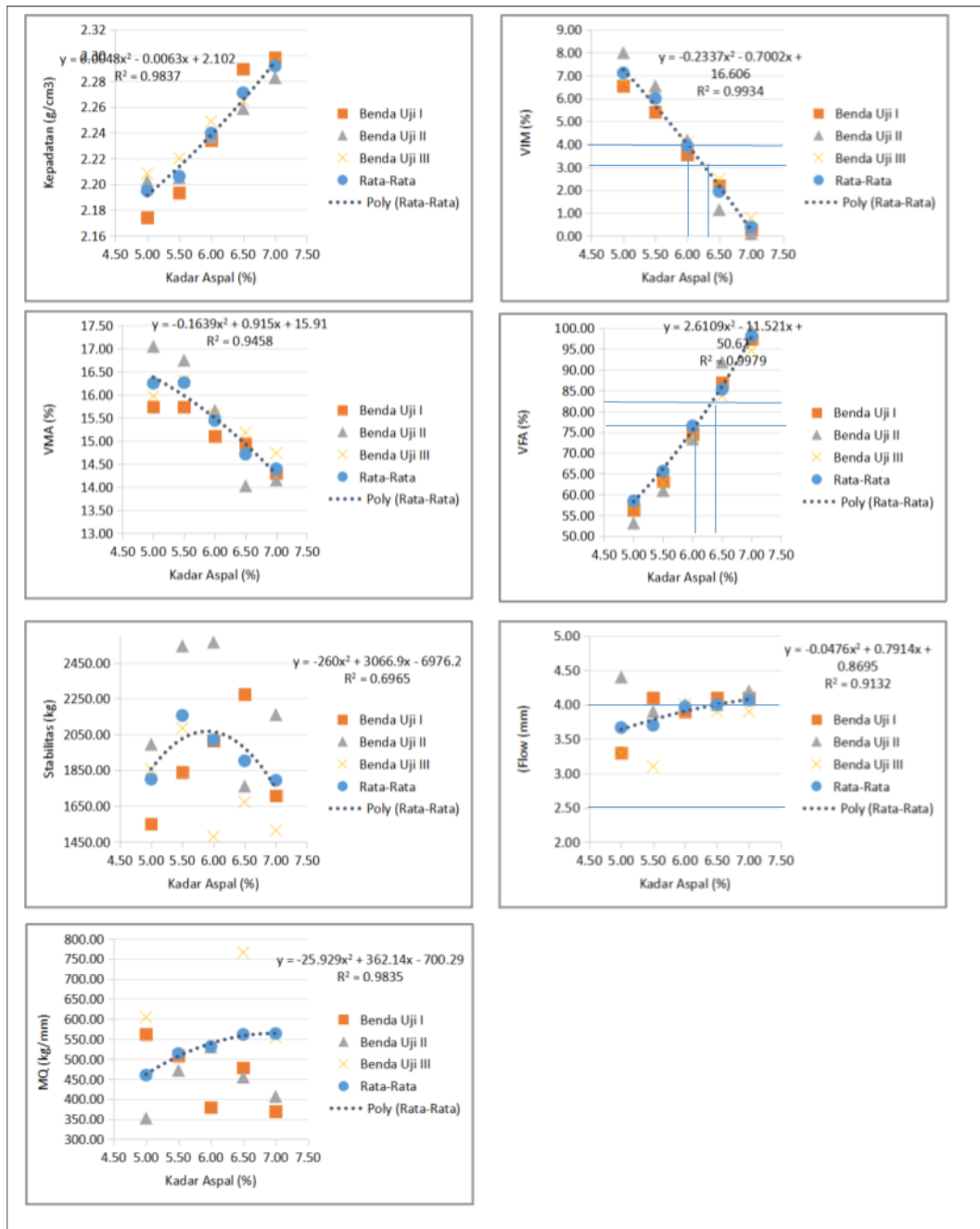
Gambar 4.29 Grafik Parameter Marshall 100% AA pada Gradasi Terbuka (2)



Gambar 4.30 Grafik Parameter Marshall 100% AA pada Gradasi Terbuka (3)

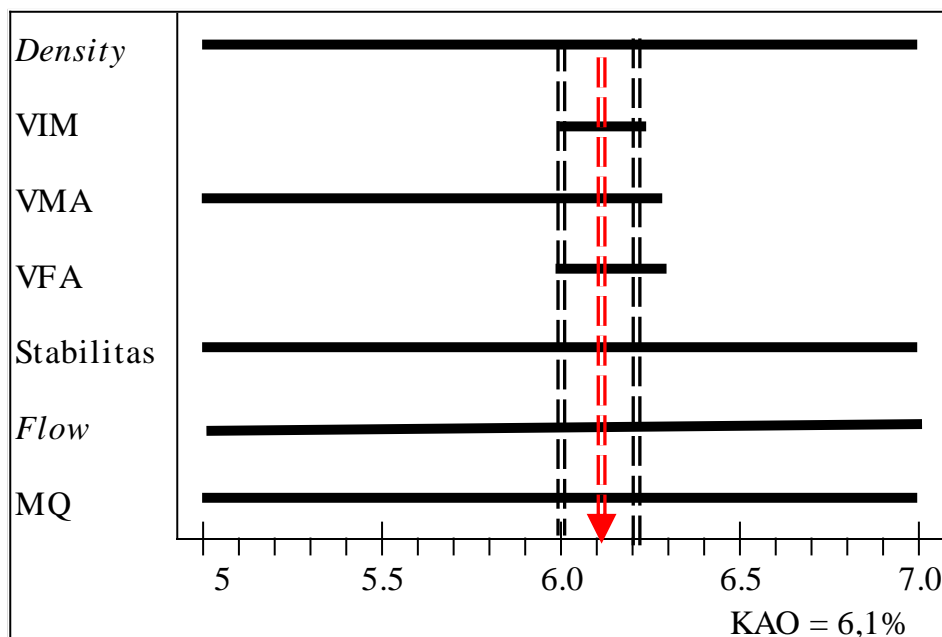
Dari ketiga grafik parameter diatas penentuan kadar aspal optimum diambil dari benda uji 1 pada gambar 4.29, nilai flow dan stabilitas pada sample ini memberikan karakteristik sesuai dengan trend Aspal Institute, dan KAO yang diperoleh ada sebesar 5,95%.

Grafik parameter Marshall untuk variasi 25% AB 75% AA pada gradasi terbuka dapat dilihat pada Gambar 4.31 :



Gambar 4.31 Grafik Parameter Marshall 25% AB 75% AA pada Gradasi Terbuka

Pada Gambar 4.31 dapat dilihat variasi kadar aspal yang memenuhi nilai dari karakteristik Marshall untuk campuran 25% AB 75% AA pada gradasi terbuka. Untuk stabilitas, flow, dan MQ setiap kadar aspal telah memenuhi persyaratan. VMA hanya pada kadar aspal 6,5% dan 7% yang tidak memenuhi. Untuk nilai VIM berkisar pada kadar aspal 6% - 6,2% sedangkan nilai VFA berkisar pada rentang 6% - 6,3%. Ilustrasi penentuan kadar aspal optimumnya dapat dilihat pada Gambar 4.32 .

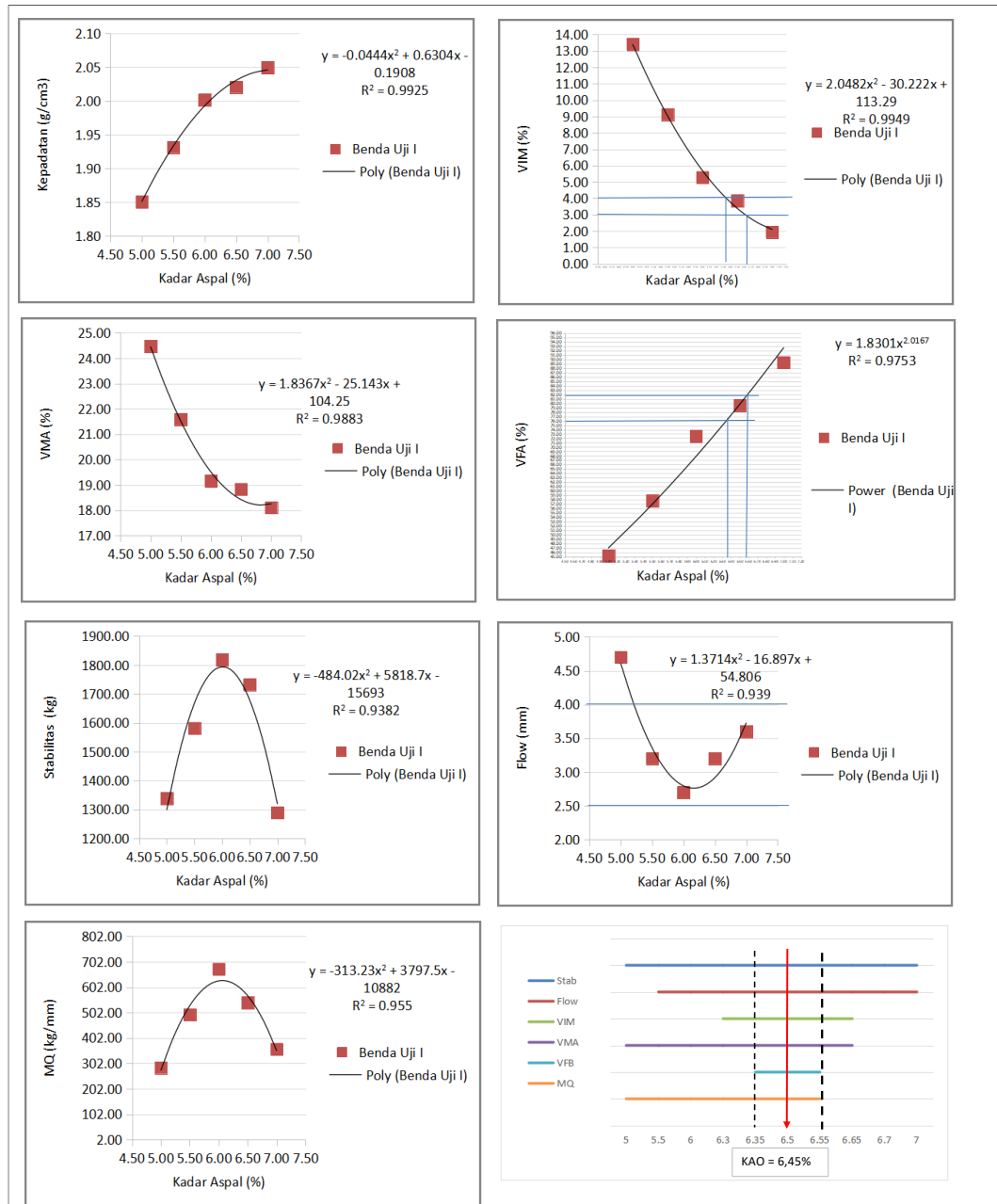


Gambar 4.32 Penentuan Kadar Aspal Optimum 25% AB 75% AA pada Gradasi Terbuka

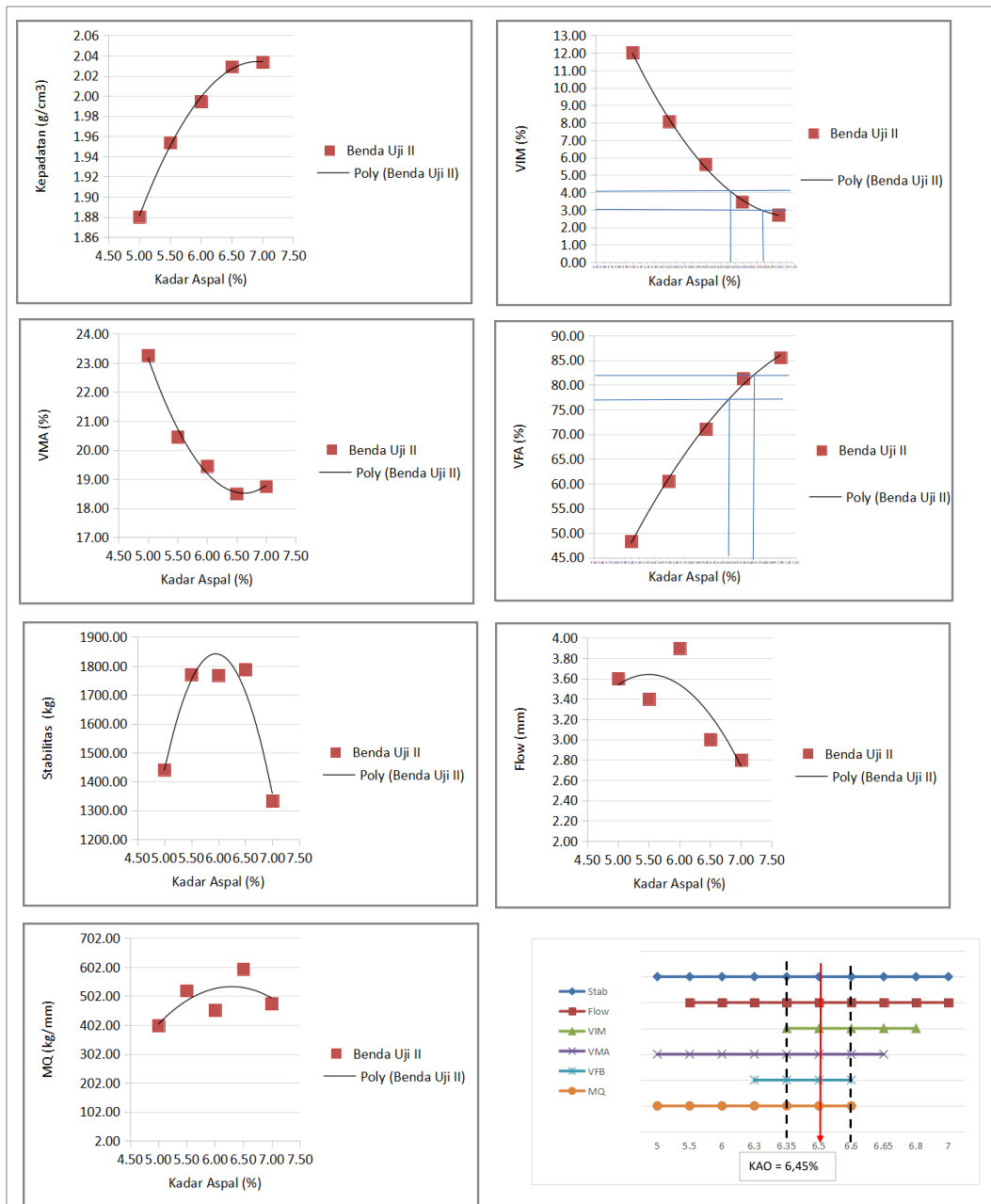
Pada Gambar 4.32 dapat dilihat bahwa kadar aspal optimum yang diperoleh untuk variasi campuran 25% AB 75% AA pada gradasi terbuka adalah sebesar 6,1%.

Parameter Marshall untuk variasi campuran yang menggunakan agregat buatan sepenuhnya pada fraksi agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 4.33 – 4.35. Nilai stabilitas, MQ, dan VMA pada campuran 25% AB 75% ABSC di setiap variasi kadar aspal telah memenuhi spesifikasi. Flow yang memenuhi spesifikasi berada pada 5,5% - 7% kadar aspal, untuk nilai VIM rentang kadar aspal yang

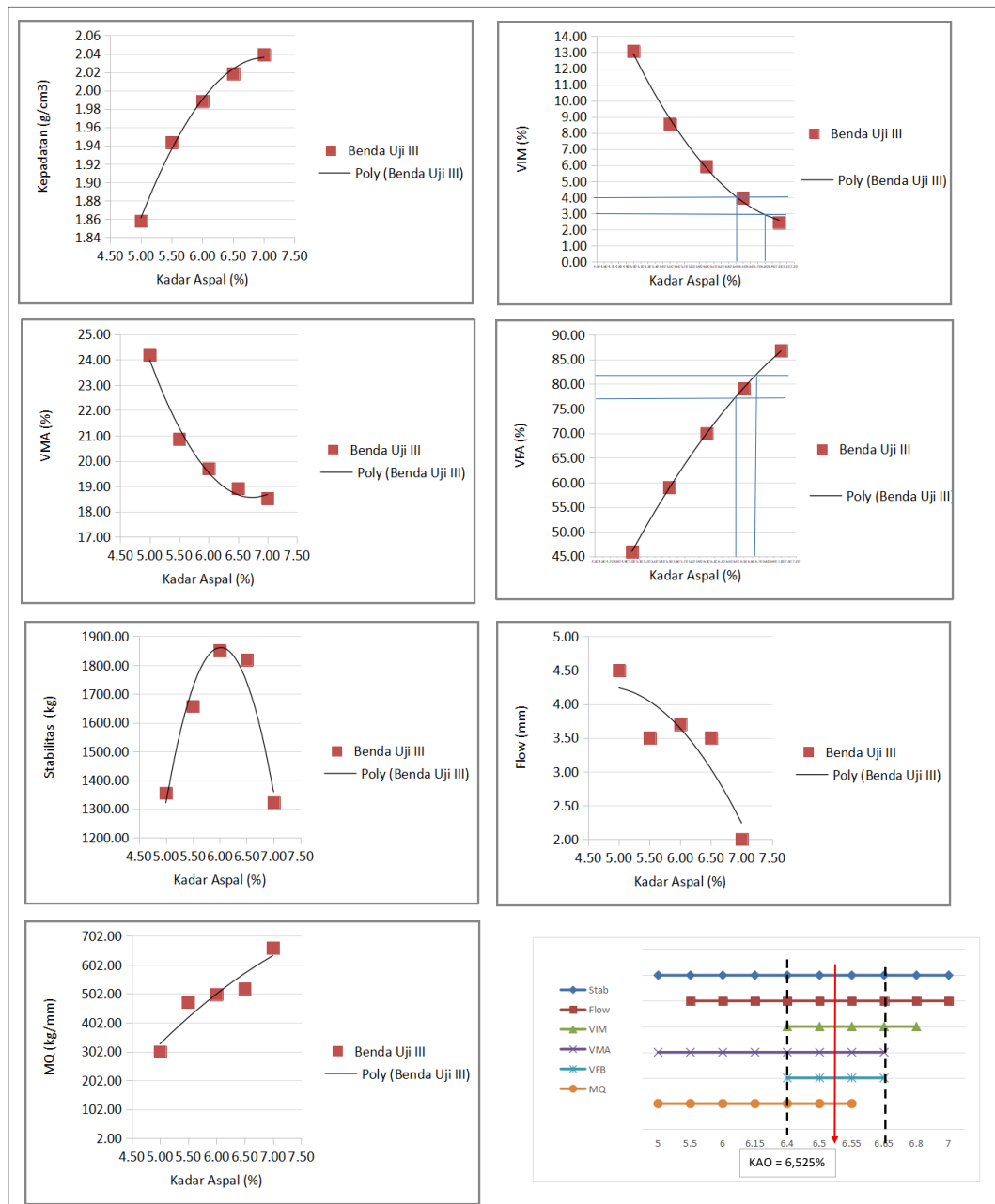
memenuhi spesifikasi adalah 6,4% – 6,7% sedangkan nilai VFA berkisar pada kadar aspal 6,1% - 6,5%.



Gambar 4.33 Grafik Parameter Marshall 25% AB 75% ABSC pada Gradasi Terbuka (1)



Gambar 4.34 Grafik Parameter Marshall 25% AB 75% ABSC pada Gradasi Terbuka (2)



Gambar 4.35 Grafik Parameter Marshall 25% AB 75% ABSC pada Gradasi Terbuka (3)

Untuk penentuan kadar aspal optimum pada variasi campuran 25% AB 75% ABSC digunakan benda uji 1 pada Gambar 4.33, Pada grafik ini seluruh nilai Marshall telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dan trend grafik Marshall juga telah sesuai dengan Aspal Institute. KAO pada variasi ini diperoleh sebesar 6,45%.

Variasi campuran yang menggunakan gradasi terbuka BBA juga memiliki nilai KAO yang berbeda, KAO 100% AA adalah sebesar 5,95% sedangkan variasi 25%AB 75% AA adalah sebesar 6,1%, variasi V3 adalah sebesar 6,45%. Penggunaan gradasi BBA memiliki kadar aspal optimum yang lebih tinggi, hal ini dikarenakan kurangnya fraksi agregat kecil dalam campuran sehingga menyebabkan kebutuhan aspal pada campuran meningkat. Dalam penggunaan agregat buatan pada kedua gradasi yang digunakan, terlihat bahwasannya penambahan presentase agregat buatan membutuhkan kadar aspal optimum yang lebih besar. Untuk seluruh grafik parameter Marshall dan penentuan KAO dapat dilihat pada Lampiran.

#### 4.2.3 Pengujian Perendaman *Marshall* (KAO)

Pengujian Marshall pada kadar aspal optimum dilakukan untuk mengetahui karakteristik Marshall terbaik pada tiap variasi campuran. Dari hasil ini akan diperoleh campuran variasi agregat buatan yang layak digunakan pada perkerasan lentur. Berikut adalah rekapitulasi data – data parameter Marshall pada rendaman 30 menit dan 24 jam {sni.....}:

Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil Karakteristik Marshall perendaman 30 menit (100%AA)

No	Karakteristik Campuran	Gradasi		Spesifikasi
		Rapat	Terbuka	
1	Kadar Aspal Optimum (%)	5.875	5.95	-
2	Kepadatan (g/cm <sup>3</sup> )	2.33	2.32	-
3	Flow (mm)	3.93	3.89	2.5-4
4	VIM (%)	3.78	3.57	3-4
5	VMA (%)	18.24	21.28	≥ 15
6	VFA (%)	79.3	81.7	76-82
7	Stabilitas (Kg)	1916.97	2117.92	≥ 2150 lbs (971kg)
8	MQ (kg/mm)	490.52	606.51	≥ 250



Tabel 4.12 Rekapitulasi Hasil Karakteristik Marshall perendaman 30 menit (25% AB 75% AA)

No	Karakteristik Campuran	Gradasi		Spesifikasi
		Rapat	Terbuka	
1	Kadar Aspal Optimum (%)	5.10	6.1	-
2	Flow (mm)	3.6	3.63	2.5-4
3	VIM (%)	3.76	3.89	3-4
4	VMA (%)	17.88	17.5	≥ 15
5	VFA (%)	78.97	78.15	76-82
6	Stabilitas (Kg)	2039.08	2055.92	≥ 2150 lbs (971kg)
7	MQ (kg/mm)	571.79	566.76	≥ 250

Tabel 4.13 Rekapitulasi Hasil Karakteristik Marshall perendaman 30 menit (25% AB 25% ABSC 50% AA)

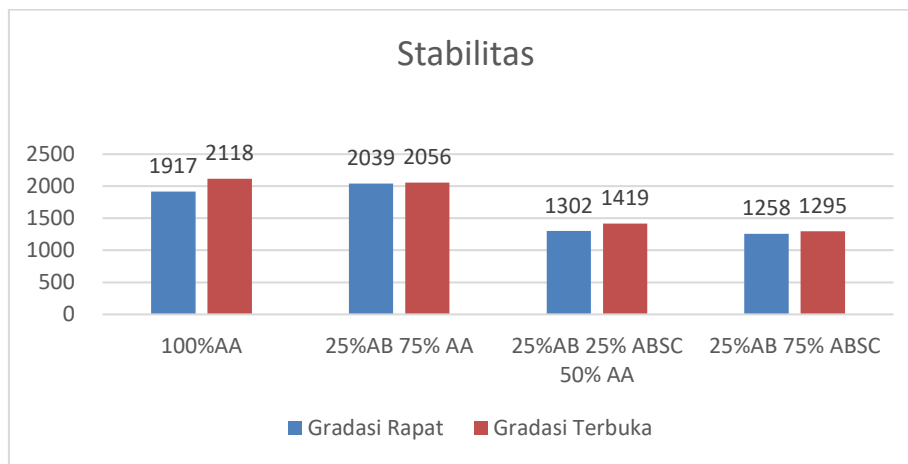
No	Karakteristik Campuran	Gradasi		Spesifikasi
		Rapat	Terbuka	
1	Kadar Aspal Optimum (%)	6.325	6.45	-
2	Kepadatan (g/cm <sup>3</sup> )	2.16	2.14	-
3	Flow (mm)	3.43	3.67	2.5-4
4	VIM (%)	3.72	3.74	3-4
5	VMA (%)	17.32	19.6	≥ 15
6	VFA (%)	78.55	80.94	76-82
7	Stabilitas (Kg)	1301.89	1419.11	≥ 2150 lbs (971kg)
8	MQ (kg/mm)	381.43	401.74	≥ 250

Tabel 4.14 Rekapitulasi Hasil Karakteristik Marshall perendaman 30 menit (25% AB 75% ABSC)

No	Karakteristik Campuran	Gradasi		Spesifikasi
		Rapat	Terbuka	
1	Kadar Aspal Optimum (%)	6.50	6.45	-
2	Kepadatan (g/cm <sup>3</sup> )	2.03	2.02	-
3	Flow (mm)	3.6	3.27	2.5-4
4	VIM (%)	3.81	3.74	3-4
5	VMA (%)	16.09	17.64	≥ 15
6	VFA (%)	76.33	78.93	76-82
7	Stabilitas (Kg)	1258.13	1294.62	≥ 2150 lbs (971kg)
8	MQ (kg/mm)	358.54	412.18	≥ 250

Pada Tabel 4.11 - 4.14 dapat dilihat nilai karakteristik Marshall pada benda uji kadar aspal optimum. Pengaruh gradasi dan agregat buatan memberikan hasil yang berbeda pada setiap variasi campuran. Dalam semua pengujian Marshall kadar aspal optimum semua variasi telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Berikut adalah analisa pengaruh gradasi dan agregat buayan pada tiap variasi campuran :

1. Pengaruh Gradasi dan Agregat Buatan terhadap Stabilitas



Gambar 4.36 Perbandingan Stabilitas (kg) Anrara Variasi Campuran

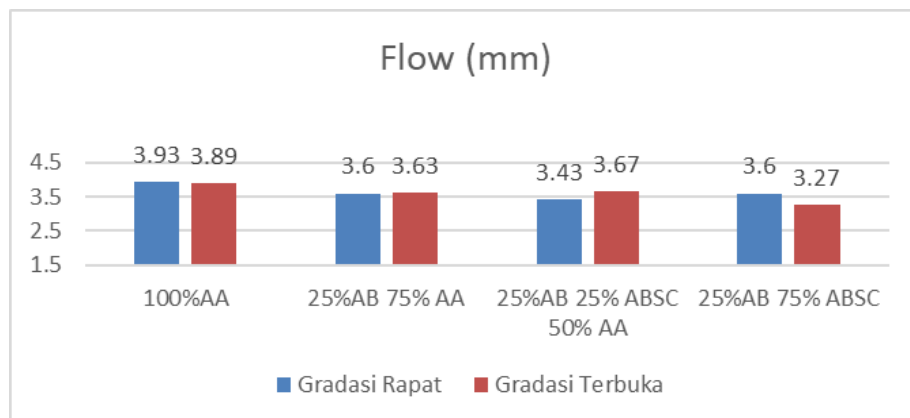
Pada Gambar 4.36 dapat dilihat perbandingan nilai stabilitas setiap variasi campuran. Stabilitas tertinggi terdapat pada campuran 100% AA bergradasi terbuka yaitu sebesar 2117,92 kg. Penggunaan gradasi terbuka mampu memberikan stabilitas yang lebih tinggi dari pada gradasi rapat. Hal ini disebabkan karena jumlah agregat kasar pada gradasi terbuka lebih besar. Susunan butir pada gradasi terbuka mampu memberikan interlocking yang baik sehingga memberikan stabilitas yang lebih besar.

Penambahan presentase agregat buatan stone crusher pada campuran memberikan penurunan pada stabilitas. Semakin banyaknya jumlah agregat buatan maka stabilitas cenderung mengalami penurunan. Akan tetapi, nilai stblitas yang diberikan masih memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Penambahan 25%AB memberikan stabilitas sebesar 2055,92 kg pada gradasi terbuka, 25%AB

25%ABSC 50% AA sebesar 1419,11 kg, dan penggunaan sepenuhnya agregat buatan pada fraksi kasar memberikan stabilitas sebesar 1294,62.

Penurunan stabilitas yang terjadi akibat penambahan agregat buatan stone crusher dikarenakan ketidakberaturan bentuk yang dihasilkan. Selain dari pada itu, nilai abrasi yang lebih kecil juga mengakibatkan agregat yang digunakan lebih aus sehingga memerlukan penurunan stabilitas. Penggunaan agregat buatan dalam campuran aspal tetap mampu memberikan hasil yang baik dan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh FAA dan kemenhub.

## 2. Pengaruh Gradasi dan Agregat Buatan terhadap Flow

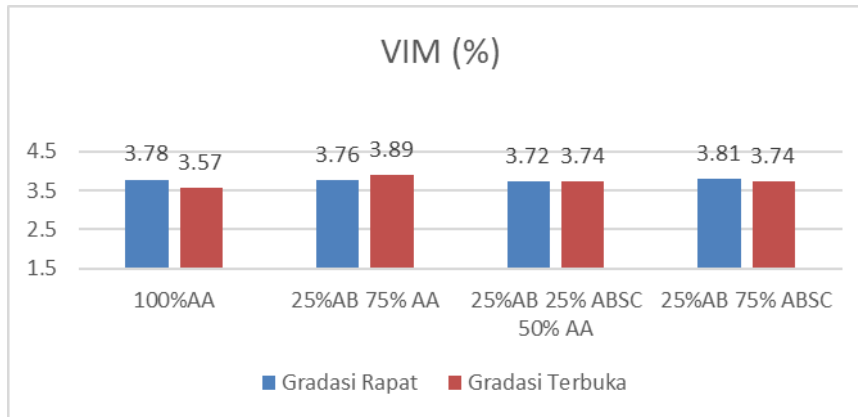


Gambar 4.37 Perbandingan Flow (mm) Anrara Variasi Campuran

Gambar 4.37 memperlihatkan perbandingan nilai flow yang terjadi antar variasi campuran. Tidak ada perbedaan yang terlalu besar, nilai flow yang diberikan masi memenuhi persyaratan. Pada campuran 100% AA memberikan nilai flow tertinggi yaitu 3,93 mm untuk gradasi rapat dan 3,89 mm. Pemilihan gradasi terbuka dan rapat memberikan nilai flow yang fluktuatif.

Agregat buatan masih dapat digunakan pada campuran aspal divariasi manapun. Campuran yang memiliki nilai flow yang rendah dan stabilitas yang tinggi akan menjadi perkerasan yang kaku sehingga mudah mengalami keretakan, sedangkan campuran aspal yang memiliki nilai flow yang tinggi dan stabilitas yang rendah memiliki sifat lebih plastis yaitu memiliki potensi untuk mengalami deformasi permanen pada saat terjadi pembebanan.

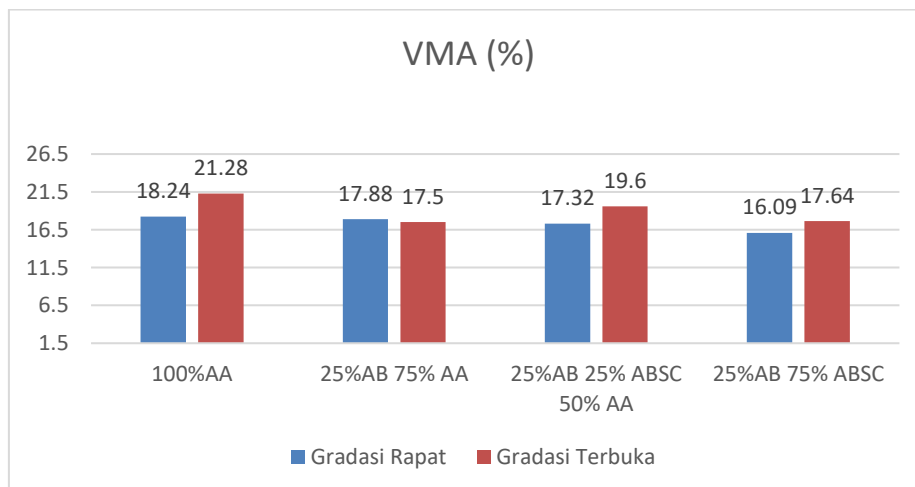
### 3. Pengaruh Gradasi dan Agregat Buatan terhadap VIM



Gambar 4.38 Perbandingan VIM (%) Anrara Variasi Campuran

Dapat dilihat pada Gambar 4.38 nilai rongga dalam campuran (VIM) pada keempat variasi memenuhi persyaratan yang ditentukan. Pada gradasi terbuka nilai VIM adalah 3,57% sedangkan gradasi rapat 3,78% untuk campuran 100% AA. Gradasi rapat dan terbuka memberikan nilai VIM yang berbeda, nilai VIM ini dipengaruhi oleh kadar aspal. Gradasi terbuka memiliki kadar aspal yang lebih tinggi sehingga mampu memberikan rongga dalam campuran sesuai spesifikasi. nilai VIM berpengaruh terhadap durabilitas dari campuran serta diperlukan agar memberikan cukup ruang untuk pemadatan akibat beban lalu lintas dan juga pengaruh peningkatan temperatur. Karena itu nilai VIM sangat menentukan karakteristik campuran.

### 4. Pengaruh Gradasi dan Agregat Buatan terhadap VMA

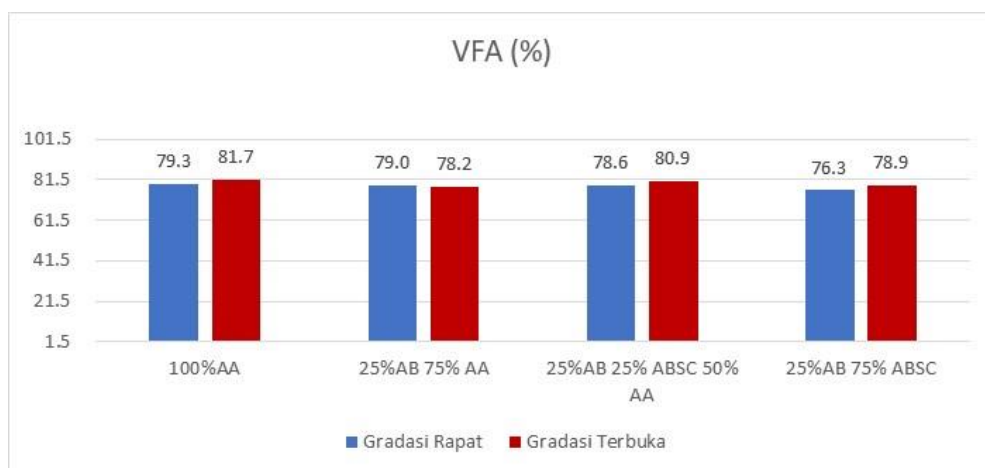


Gambar 4.39 Perbandingan VMA (%) Anrara Variasi Campuran

Nilai VMA dari setiap variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 4.39. Penggunaan gradasi terbuka memberikan nilai VMA yang lebih tinggi yaitu pada variasi 100% AA sebesar 21,28% , 25% AB 25% ABSC 50% AA sebesar 19,6 % dan 25% AB 75% ABSC sebesar 17,64%. Gradasi terbuka lebih memiliki rongga antar agregat karena memiliki fraksi agregat halus yang kecil sehingga tidak mengisi rongga – rongga yang kosong antar agregat.

Nilai VMA yang mendekati batas minimum menunjukkan bahwa campuran lebih memiliki keawetan sedangkan nilai VMA yang tinggi akan mengakibatkan campuran mengalami deformasi yang besar. Penggunaan agregat buatan mampu memberikan nilai VMA yang lebih mendekati batas minimum sehingga campuran akan lebih memiliki keawetan.

#### 5. Pengaruh Gradasi dan Agregat Buatan terhadap VFA



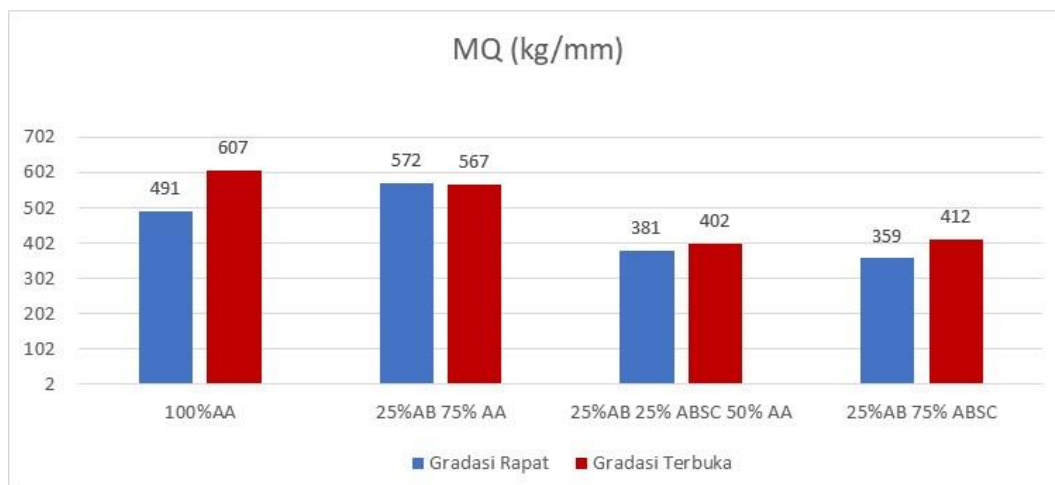
Gambar 4.40 Perbandingan VFA (%) Anrara Variasi Campuran

Gambar 4.40 menunjukkan perbandingan nilai VFA antar tiap variasi campuran. Persyaratan nilai VFA ditetapkan oleh Kemenhub yaitu 76-82 %, keseluruhan variasi campuran telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Gradasi terbuka memberikan nilai VFA yang lebih besar dari pada gradasi rapat yaitu 81,7% dan 79,3%. Nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami *bleeding* atau naiknya aspal ke permukaan. Sedangkan Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan kekedapan campuran terhadap air

berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan masuk kedalam lapis perkerasan sehingga keawetan dari lapis perkerasan akan berkurang.

Penggunaan agregat buatan memberikan penurunan pada nilai VMA, yaitu 80,94% Variasi V2 dan 78,93% pada variasi 25%AB 75%ABSC untuk gradasi terbuka. Hal ini dikarenakan nilai penyerapan yang tinggi pada agregat buatan sehingga aspal yang menyelimuti agregat, diserap oleh agregat tersebut. Oleh karena itu penambahan presentase agregat buatan pada fraksi kasar bisa diterapkan pada campuran aspal.

#### 6. Pengaruh Gradasi dan Agregat Buatan terhadap MQ



Gambar 4.41 Perbandingan MQ (kg/mm) Anrara Variasi Campuran

Marshall Qoutient memiliki syarat spesifikasi minimal adalah 250 kg/mm. Dapat dilihat pada Gambar 4.41 semua variasi campuran telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. MQ adalah hasil perbandingan antara stabilitas dan flow, MQ yang terlalu besar menunjukkan sifat campuran yang lebih kaku sehingga tidak mudah mengalami deformasi, begitu pula sebaliknya. Nilai MQ tertinggi adalah 606,51 kg/mm pada variasi campuran 100% AA gradasi terbuka. Nilai MQ yang terendah ada pada campuran 25%AB 75%ABSC gradasi rapat yaitu 358,54 kg/mm.

#### 4.2.4 Pengujian Perendaman *Marshall* 24 jam (Durabilitas)

Nilai durabilitas diperoleh dari perbandingan antara stabilitas rendaman 24 jam dengan stabilitas rendaman 30 menit pada suhu 60 °C. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap kerusakan oleh air atau yang disebut Indeks Kekuatan *Marshall* Sisa (IKS) atau *Marshall Index of Retained Strength*. Pada pengujian ini akan didapatkan nilai indeks perendaman yang dinyatakan dalam persen (%). Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 telah menetapkan batas minimal untuk indeks perendaman campuran AC-WC adalah minimal 90% dari nilai stabilitas *Marshall*. Hasil pengujian dan perhitungan nilai durabilitas dapat dilihat Tabel 4.12- 4.13 :

Tabel 4.15 Data Hasil Pengujian dan Perhitungan Durabilitas Gradasi Rapat

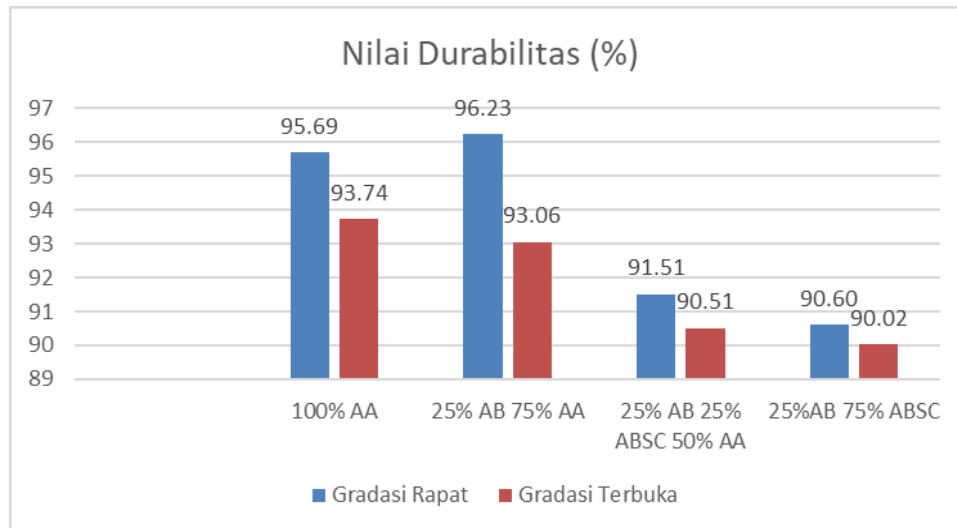
No	Jenis Campuran Aspal	Stabilitas Rendaman 30 Menit	Stabilitas Rendaman 24 jam	Nilai Durabilitas (%)
A	B	c	D	$e=d/c \times 100$
1	100% AA	1916.97	1834.34	95.69
2	25% AB 75% AA	2039.08	1962.11	96.23
3	25% AB 25% ABSC 50% AA	1301.89	1191.39	91.51
4	25% AB 75% ABSC	1258.13	1139.88	90.60

Tabel 4.16 Data Hasil Pengujian dan Perhitungan Durabilitas Gradasi Terbuka

No	Jenis Campuran Aspal	Stabilitas Rendaman 30 Menit	Stabilitas Rendaman 24 jam	Nilai Durabilitas (%)
A	B	c	D	$e=d/c \times 100$
1	100% AA	2117.92	1985.28	93.74
2	25% AB 75% AA	2055.92	1913.25	93.06
3	25% AB 25% ABSC 50% AA	1419.11	1284.48	90.51
4	25% AB 75% ABSC	1294.62	1165.39	90.02

Dari Tabel 4.15 – 4.16 dapat dilihat perhitungan nilai durabilitas pada tiap variasi campuran. Untuk semua variasi telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Nilai durabilitas ini sangat dipengaruhi oleh tingkat kelekatan agregat,

kadar aspal, kepadatan, kandungan rongga dan gradasi agregat yang digunakan. Untuk melihat perbandingan nilai durabilitas antar variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 4.21 :



Gambar 4.42 Perbandingan Durabilitas (%) Antara Variasi Campuran

Pada gambar 4.42 dapat dilihat perbandingan durabilitas antar variasi campuran. Campuran 25%AB 75%AA pada gradasi rapat memberikan nilai durabilitas tertinggi yaitu sebesar 96,23%, 100% AA gradasi rapat sebesar 95,69%. Nilai durabilitas pada gradasi rapat cenderung lebih tinggi dari pada gradasi terbuka. Hal ini memperlihatkan bahwa campuran bergradasi rapat lebih memiliki ketahanan terhadap air yang lebih besar dari pada gradasi terbuka. Hal ini dapat disebabkan karena pengaruh gradasi agregat yang menyebabkan rongga dalam campuran pada gradasi terbuka lebih besar sehingga membuat kekuatan campuran lebih rendah pada ketahanan campuran terhadap air (durabilitas).



### 4.3 Diskusi

#### 1. Gradasi Terhadap Karakteristik Marshall

Penggunaan gradasi rapat dan terbuka memberikan karakteristik campuran yang berbeda-beda. Gradasi agregat menentukan besarnya pori atau rongga yang terjadi dalam campuran. Gradasi rapat memiliki distribusi agregat berukuran besar sampai kecil secara merata, sehingga menyebabkan rongga yang berada pada campuran lebih sedikit. Sedangkan penggunaan gradasi terbuka memiliki rongga yang lebih besar, sehingga campuran memiliki kemampuan meloloskan air yang lebih baik. Pada penelitian ini, gradasi terbuka yang dimodifikasi BBA mampu memberikan nilai stabilitas yang lebih tinggi dari pada gradasi rapat spesifikasi FAA. Ukuran fraksi kasar yang digunakan pada BBA dan FAA memiliki distribusi yang hampir sama, namun jumlah fraksi kasar pada BBA lebih banyak sehingga mampu memberikan nilai stabilitas yang baik. Gradasi rapat spesifikasi FAA memiliki nilai durabilitas yang lebih baik, hal ini ditunjukkan dengan lebih sedikitnya rongga yang dimiliki campuran. Rongga yang lebih sedikit akan menghambat air untuk masuk, sehingga campuran mampu lebih bertahan akibat kerusakan oleh air. Thom (2010) menyebutkan kunci untuk mendapatkan durabilitas yang baik (>90%) adalah rendahnya permeabilitas pada suatu campuran. Secara keseluruhan penggunaan gradasi FAA dan BBA telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan untuk setiap parameter Marshall. Penggunaan gradasi terbuka BBA memang memiliki rongga yang lebih besar, jika penerapan dilapangan mampu terintergasi dengan system drainase yang baik tentu air yang menggenang diatas permukaan jalan bisa terserap dan dialirkan ke drainase. Penerapan gradasi terbuka BBA telah diterapkan pada bandara di Francis.

#### 2. Agregat Buatan Terhadap Karakteristik Marshall

Penggunaan Agregat buatan dalam penelitian ini telah dilakukan pada agregat kasar. Penambahan 25% agregat buatan berbentuk bulat (*rounded*) dalam campuran masih memberikan hasil yang sangat baik pada karakteristik Marshall, nilai stabilitas pada gradasi terbuka adalah sebesar 2056 kg sedangkan pada variasi 100% agregat alam adalah 2118 kg, spesifikasi untuk stabilitas menurut FAA adalah

sebesar 971,6 kg . Tidak terjadi penurunan yang jauh, sehingga 25% agregat buatan bulat bisa menjadi alternative penggunaan agregat alam. Agregat buatan hasil olahan stone crusher ditambahkan secara bertahap pada campuran aspal, hasilnya pada variasi 25% AB 25% ABSC 25% 50% AA memberikan stabilitas diatas spesifikasi yaitu sebesar 1302 kg pada gradasi rapat dan 1419 kg pada gradasi terbuka. Pada variasi 3 penggunaan agregat buatan pada fraksi kasar digunakan sepenuhnya yaitu 25% AB 75% ABSC, dalam stabilitas campuran ini mengalami penurunan yaitu sebesar 1258 kg pada gradasi rapat dan 1295 kg pada gradasi terbuka. Variasi agregat buatan masih memberikan karakteristik yang baik, namun penggunaan agregat buatan ini menggunakan kadar aspal yang relative lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai penyerapan yang besar pada agregat buatan terhadap agregat alam, nilai penyerapan yang besar ini menandakan agregat buatan memiliki pori sehingga menyerap aspal yang lebih besar, namun untuk mengetahui besarnya pori yang sebenarnya berada dalam campuran maka sebaiknya digunakan paraffin untuk perendamannya. Selain itu, besarnya nilai abrasi pada agregat buatan membuat terjadinya penurunan stabilitas. Hal ini diakibatkan oleh degradasi yang terjadi pada agregat menyebabkan ukuran fraksi kasar menjadi berubah, misalnya ukuran agregat sebelumnya adalah No. 3/8 tetapi ketika terjadi penumbukan, ada agregat yang pecah sehingga menyebabkan terjadinya pergeseran ukuran pada agregat. Nilai karakteristik Marshall pada campuran yang menggunakan agregat buatan masih memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, sehingga bisa menjadi alternative penggunaan agregat alam. Penggunaan *fly ash* sebagai agregat buatan harus dilakukan pengujian karakteristiknya untuk mengetahui konsistensi hasil dari pada setiap produksinya.

### 3. Variasi Nilai Marshall

Dari hasil pengujian Marshall yang telah dilakukan diperoleh nilai stabilitas dan flow yang bervariasi. Stabilitas yang dihasilkan campuran variasi 25% AB 25% ABSC 50% AA gradasi terbuka adalah 1419 kg. Hasil ini melebihi batas spesifikasi yang ditetapkan yaitu 971,6 kg. Dalam penerapannya dilapangan, nilai ini seharusnya bisa diterapkan pada perkerasan lentur terutama perkerasan bandara.

Dengan beban pesawat yang tidak terlalu besar, penggunaan variasi ini bisa dilakukan pada perkerasan di bandara perintis dengan jumlah penerbangan dan beban pesawat yang kecil. Nilai VIM dari variasi ini adalah 3,74%, berdasarkan spesifikasi FAA ditargetkan nilai *air void* adalah sebesar 3,5%. Penggunaan gradasi terbuka pada campuran ini memang memberikan nilai rongga yang besar, akan tetapi dalam perkerasan bandara harus dihindarkan dari genangan air. Oleh karena itu, rongga yang besar dan diintegrasikan dengan system drainase maka air yang ada di permukaan pesawat bisa diserap oleh campuran dan dialirkan ke drainase.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Agregat buatan bulat (AB) dan agregat buatan stone crusher (ABSC) menghasilkan karakteristik agregat yang berbeda – beda, untuk berat jenis AB adalah  $1,85 \text{ gr/cm}^3$  dan ABSC  $1,963 \text{ gr/cm}^3$ , nilai penyerapan AB adalah 6,08% sedangkan ABSC 5,840%, nilai abrasi AB 22,78% sedangkan ABSC 24,03%.
2. Kadar Aspal Optimum untuk setiap penggunaan gradasi dan variasi agregat buatan adalah berbeda, untuk rapat 100% AA adalah 5,85%, variasi 25% AB 75% ABSC adalah 5,1%, 25%AB 25%ABSC 50% adalah sebesar 6,325%, variasi 25% AB 75% ABSC adalah 6,5%. KAO pada gradasi terbuka adalah 5,95% untuk 100% AA, 6,45% untuk V2 dan V3, sedangkan untuk variasi 25% AB 75% AA adalah sebesar 6,1%.
3. Nilai parameter Marshall untuk semua variasi campuran telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Penggunaan gradasi terbuka memiliki stabilitas lebih tinggi namun memiliki pori yang lebih besar. Nilai stabilitas tertinggi adalah 100% AA gradasi terbuka sebesar 2117,92 kg sedangkan stabilitas terendah adalah variasi 25% AB 75% ABSC gradasi rapat yaitu sebesar 1258,13 kg.
4. Nilai durabilitas pada campuran aspal bergradasi rapat lebih besar dari gradasi terbuka pada setiap campuran. Durabilitas campuran 100% AA gradasi rapat adalah 95,69%, gradasi terbuka sebesar 93,74%. Penambahan agregat buatan stone crusher menurunkan nilai durabilitas tetapi masih memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

## 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan riset selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya agregat buatan diolah melalui pemecah batu yang lebih baik, sehingga bisa menghasilkan bentuk dan tekstur agregat lebih baik.
2. Ketelitian dalam prosedur pelaksanaan dalam laboratorium bisa lebih diperhatikan untuk memberikan hasil yang lebih konsisten.
3. Perlu dilakukan penelitian tentang permeabilitas terhadap penggunaan agregat buatan dan gradasi terbuka.
4. Penelitian tentang analisis ekonomi untuk pemanfaatan agregat buatan.
5. Pada saat perendaman benda uji digunakan paraffin agar nilai rongga yang sebenarnya dapat diketahui.
6. Konsistensi kualitas agregat buatan yang dipengaruhi oleh konsistensi produksi *fly ash*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, A. T. 2017. *Analisis gradasi agregat sebagai upaya perbaikan karakteristik campuran aspal beton geopolimer*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Agustian, K. 2016. *Pengaruh Pemanfaatan Limbah Plastik Serta Abu Sekam Pada Padi Campuran Laston Lapis Aus (AC-WC)*. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Ahyudanari, E., Ekaputri, J. J., & Tardas, M. 2016. Analysis of Coal Waste Solidification as an Alternative Filler Material in Asphalt Concrete Mixture. *Materials Science Forum*, 841(November), 65–71. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.841.65>
- Australian Asphalt Pavement Association (AAPA). 1997. *Open Graded Asphalt - Design Guide*.
- Balitbang. 2012. Recycling (Teknologi Daur Ulang Perkerasan Jalan. *Litbang.Pu.Go.Id/ Recycling-Teknologi-Daur-Ulang-Perkerasan Jalan*.
- Bhakti, H., Olivia, M., & Kamaldi, A. 2015. Agregat Buatan Geopolimer dengan Bahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash) dan Abu Sawit (Palm Oil Fuel Ash). *Teknik Sipil, Universitas Riau*, 1–5.
- Chavan, A. J. 2013. Use Of Plastic Waste In Flexible Pavements, 2(4), 540–552.
- Chindaprasirt, P., Chaeerat, T., Hatanaka, S., & Cao, T. 2011. High-Strength Geopolymer Using Fine High-Calcium Fly Ash. *Journal of Materials in Civil Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000161](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000161)
- Cui, P., Xiao, Y., Yan, B., Li, M., & Wu, S. 2018. Morphological characteristics of aggregates and their influence on the performance of asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 186, 303–312. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.124>
- Davidovits, J. 2015. *Geopolymer* (4th Editio). Saint-Quentin, France: Institut Geopolymere.
- Dima, D.-N., Andrei, R., Boboc, V., & Scanteianu, I. 2017. Evaluation of the Sustainability of Flexible Pavements, 63(67).
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010, *Spesifikasi Umum Divisi 6 Perkerasan Aspal Edisi November 2010*, Kementerian Pekerjaan Umum: Jakarta.

- Ekaputri, J. J., & Triwulan, T. 2013. Sodium sebagai Aktivator Fly Ash , Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer. *Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 20(1), 1–10.
- Guo, H., Zhao, Y., Zhang, D., & Shang, M. 2016. Study of movement of coarse aggregates in the formation process of asphalt mixture in the laboratory. *Construction and Building Materials*, 111, 743–750. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.110>
- Jansen, F. 2017. Pengaruh Fluktuasi Gradasi Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Campuran Ac-Wc, (August 2016). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/319928343%0APENGARUH>
- Jaya, R. P., Hassan, N. A., Mahmud, M. Z. H., Aziz, M. M. A., Hamzah, M. O., & Che-Wan, C. N. 2014. Effect of aggregate shape on the properties of asphaltic concrete AC14. *Jurnal Teknologi*, 71(3), 69–73. <https://doi.org/10.11113/jt.v71.3762>
- Karyawan, I. D. A., Ahyudanari, E., & Ekaputri, J. J. 2017. Potential Use of Fly Ash Base-Geopolymers Aggregate Substitution in Asphalt Concrete Mixtures. *International Journal of Engineering and Technology*, 9(5), 3744–3752. <https://doi.org/10.21817/ijet/2017/v9i5/170905005>
- Krebs, R. D., & Walker, R. D. 1971. *Highway Materials*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Lin, C., & Tongjing, W. 2018. Effect of fine aggregate angularity on skid-resistance of asphalt pavement using accelerated pavement testing. *Construction and Building Materials*, 168, 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.171>
- M., A. A. H. 2014. Effect of Aggregate Gradation and Type on Hot Asphalt Concrete Mix Properties. *Journal of Engineering Sciences Assiut University*, 42(4), 567–574.
- Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, D.-Y., & Kennedy, T. W. 1996. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*.
- Sengoz, B., Onsori, A., & Topal, A. 2014. Effect of aggregate shape on the surface properties of flexible pavement. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1364–1371. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0516-0>
- Sudrajat. 2016. PeVFAan Agregat Buatan Berbahan Dasar Fly Ash Untuk Bahan Perkerasan Jalan Di Berbagai Variasi Suhu Perawatan.
- Sukirman, S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.

- Sumiati, & Sukarman. 2014. Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap VFA Karakteristik Aspal Beton ( Ac-Bc ), *10*(1), 85–91.
- Tahir, A., & Setiawan, A. 2009. Kinerja durabilitas campuran beton aspal ditinjau dari faktor variasi suhu pemadatan dan lama perendaman. *SMARTek*, *7*(1), 45–61. <https://doi.org/10.1128/mBio.00420-12>
- Texas Department Of Transportation. 2018. Pavement Manual (pp. 1–15).
- Tokyay, M., & Akcaoglu, T. 2004. Determining Aggregate Size & Shape Effect On Concrete Microcracking Under Compression By Means of A Degree Of Reversibility Method, 2–7.
- Wang, H., Bu, Y., Wang, Y., Yang, X., & You, Z. 2016. The Effect of Morphological Characteristic of Coarse Aggregates Measured with Fractal Dimension on Asphalt Mixture ' s High-Temperature Performance, *2016*.
- Wardani, S. P. R. 2008. Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) untuk Stabilisasi Tanah maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. *Pidato Pengukuhan Guru Besar*, 1–71. <https://doi.org/core.ac.uk/11707666>
- Xie, X., Lu, G., Liu, P., Wang, D., Fan, Q., & Oeser, M. 2017. Evaluation of morphological characteristics of fine aggregate in asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, *139*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.044>
- Yoo, B. S., Park, D. W., & Vo, H. V. 2016. Evaluation of Asphalt Mixture Containing Coal Ash. *Transportation Research Procedia*, *14*(1997), 797–803. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.027>



## LAMPIRAN A

## Lampiran A.1

### Formulir Pemeriksaan Agregat Kasar

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pengujian :

## BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR

Tanggal Pengujian : 21 Oktober 2018  
Jenis Material : Agregat kasar

Pengambilan Data

Benda Uji		I	II	Rata – Rata
<b>A</b>	Benda uji kering oven (Bk) (gram)	2003.2	2002.7	2002.95
<b>B</b>	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj) (gram)	2048	2052	2050
<b>C</b>	Berat benda uji didalam air (Ba) (gram)	1264	1260	1262
<b>D</b>	Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2.555	2.529	2.542
<b>E</b>	Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2.612	2.591	2.602
<b>F</b>	Berat Jenis Semu (apparent) $\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2.710	2.697	2.703
<b>G</b>	Penyerapan $\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	2.236	2.462	2,349

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :  
Pengujian :

## KEAUSAN AGREGAT

Tanggal Pengujian :  
Jenis Material : Agregat kasar  
Pengambilan Data

Saringan	Berat Benda Uji (gram)				
Lolos	Tertahan	Sebelum I	Sesudah I	Sebelum II	Sesudah II
		A	B	A	B
$\frac{3}{4}''$	$\frac{1}{2}''$	2500	3531,5		
$\frac{1}{2}''$	$\frac{3}{8}''$	2500			
$\frac{3}{8}''$	$\frac{1}{4}''$			2500	3390,5
$\frac{1}{4}''$	4''			2500	
Jumlah Berat		5000	3531.5	5000	3390,5
Jumlah Bola Baja		11		8	
Lolos Saringan No.12		1467,7		1609,5	

Perhitungan		I	II	Rata – Rata
A	Berat sebelum di uji	5000	5000	5000
B	Berat sesudah di uji	3531,5	3390,5	3461
C	Lolos saringan No. 12	1467,7	1609,5	1538,60
D	Keausan (%)	29,37	32,2	30,8

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pengujian :

## **KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL**

Tanggal Pengujian :  
Jenis Material : Agregat kasar

Pengambilan Data

Pengamatan	Hasil Pengamatan/Kelekatan (%)
1	99
2	98
Rata – rata	98,5

## Lampiran A.2

### Formulir Pemeriksaan Agregat Halus

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :  
Pengujian :

## BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

Tanggal Pengujian : 18 Oktober 2018  
Jenis Material : Agregat halus

Pengambilan Data

Benda Uji		I	II	Rata – Rata
A	Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)	500	487.9	493.95
B	Berat benda uji kering oven ( <b>Bk</b> ) (gram)	482.7	473	477.85
C	Berat Piknometer + air (gram)	679.8	626.4	653.1
E	Berat Piknometer + benda uji + air ( <b>Bt</b> ) (gram)	993.5	932.8	963.15
F	Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{B+200 - Bt}$	2,591	2,606	2,599
G	Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{200}{B+200+ Bt}$	2,684	2,688	2,686
H	Berat Jenis Semu (apparent) $\frac{Bk}{B+Bk+Bt}$	2,856	2,839	2,848
I	Penyerapan $\frac{200-Bk}{Bk} \times 100\%$	2,937	2,993	2,965

### Formulir Pemeriksaan Filler

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :  
Pengujian :

### BERAT JENIS DAN PENYERAPAN FILLER

Tanggal Pengujian : 18 Oktober 2018  
Jenis Material : Filler

Pengambilan Data

Benda Uji		I	II	Rata – Rata
A	Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)	500	500	500
B	Berat benda uji kering oven ( <b>Bk</b> ) (gram)	490,5	494,1	492,3
C	Berat Piknometer + air (gram)	631,9	633,7	632,8
E	Berat Piknometer + benda uji + air ( <b>Bt</b> ) (gram)	940,9	948	944,45
F	Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{B+200 - Bt}$	2,568	2,661	2,614
G	Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{200}{B+200+ Bt}$	2,618	2,693	2,655
H	Berat Jenis Semu (apparent) $\frac{Bk}{B+Bk+Bt}$	2,702	2,748	2,725
I	Penyerapan $\frac{200-Bk}{Bk} \times 100\%$	1,937	1,194	1,399

### Lampiran A.3

#### Formulir Pemeriksaan Agregat Buatan

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :

### AGREGAT BUATAN BULAT

Tanggal Pengujian : 18 Oktober 2018  
Sumber Material : Paiton Power Plant Probolinggo

#### Pengambilan Data

No	Test	Rasio 2,5		Rerat a
		Kemiringan Granulator 50°		
		I	II	
1	Berat Jenis (bulk) gr/cm <sup>3</sup>	1,84	1,86	1,85
2	Berat Jenis kering permukaan jenuh gr/cm <sup>3</sup>	1,96	1,97	1,97
3	Berat Jenis Semu (apparent) gr/cm <sup>3</sup>	2,10	2,08	2,09
4	Penyerapan %	6,60	5,56	6,08
5	Kekalan Agregat terhadap Larutan Magnesium Sulfat %	6,685	3,754	5,219
6	Abrasi dengan Mesin Los Angeles %	24,06	21,50	22,78
7	Kelekatan Agregat terhadap Aspal %	98	96	97

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :

## BERAT JENIS AGREGAT BUATAN BULAT

Pengambilan Data

Benda Uji		I	II	Rata – Rata
<b>A</b>	Benda uji kering oven (Bk) (gram)	2500	2500	2500
<b>B</b>	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj) (gram)	2665	2639	2652
<b>C</b>	Berat benda uji didalam air (Ba) (gram)	1308	1298	1303
<b>D</b>	Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{Bj - Ba}$	1.842	1.864	1.853
<b>E</b>	Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{Bj}{Bj - Ba}$	1.964	1.968	1.966
<b>F</b>	Berat Jenis Semu (apparent) $\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2.097	2.080	2.089
<b>G</b>	Penyerapan $\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	6.600	5.560	6.080



Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :

## BERAT JENIS AGREGAT BUATAN STONE CRUSHER

Uraian	Agregat
Berat benda uji kering oven (Bk) (gr)	5000
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj) (gr)	5292
Berat benda uji dalam air (Ba) (gr)	2745
Berat jenis ( Bulk) $= \frac{Bk}{Bj - Ba}$	Agregat
Berat jenis kering permukaan jenuh $= \frac{Bj}{Bj - Ba}$	2.078
Berat jenis semu (Apparent) $= \frac{Bk}{Bk - Ba}$	2.217
Penyerapan (Absorption) $= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	5.840

Proyek : TESIS  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan, ITS  
Pemohon :

### Pemeriksaan Impact Agregat Buatan

No	Uraian	Pengujian	
		I	II
1	Berat benda uji + Takaran (A) gram	3517	3488
2	Berat Takaran, (B) gram	3136	3136
3	Berat benda uji sebelum diuji (A-B) gram	381	352
4	Berat lolos # 2.36 mm (C) gram	45.7	57.1
5	Nilai Impact = $C/(A-B) \times 100\%$	11.99%	16.22%
Rata-rata		14.11%	

### Pemeriksaan Keausan Agregat buatan

GRADASI PEMERIKSAAN		BERAT SAMPEL (gr)
lolos	tertahan	
19.1 mm	12.5 mm	2500
12.5 mm	9 mm	2500.4
Jumlah Berat	(a)	5002.3
Berat tertahan no.12	(b)	3800
Berat yang Aus (a-b)		1202.3
Nilai Keausan		24.03

## Lampiran A.4

### Formulir Pemeriksaan Aspal

Proyek : Penelitian Tesis  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pelaksana :  
Pengujian :

### BERAT JENIS ASPAL

Tanggal Pengujian : 21 Oktober 2018  
Jenis Material : Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina

#### Pengambilan Data

Benda Uji		I	II
A	Berat Picnometer + Tutup (gram)	27.20	27.20
B	Berat Picnometer + Tutup + Air (gram)	52.20	52.20
C	Berat Picnometer + Tutup + Aspal (gram)	36.80	39.80
D	Berat Picnometer + Tutup + Aspal + Air (gram)	52.50	52.60
E	Berat Jenis Aspal = $(C-A) / (B-A) - (D-C)$	1.032	1.033
F	Rata – Rata	1.033	

Proyek : Penelitian Tesis  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pelaksana :  
Pengujian :

## PENETRASI ASPAL

SNI 06 – 2456 – 1991

Tanggal Pengujian : 22 Oktober 2018  
Jenis Material : Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina

### Pengambilan Data

Pembukaan Benda Uji	Perlakuan	Pembacaan Waktu	Pembacaan Suhu
	Benda Uji dipanaskan		Pembacaan suhu oven temperatur 110°C
	Mulai	09.15	
	selesai	09.30	
Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	09.33	
	Selesai	10.33	
Perendaman Benda Uji	Direndam pada suhu 25°C		Pembacaan suhu waterbath temperatur 25°C
	Mulai	10.33	
	Selesai	11.33	
Pemeriksaan Benda Uji	Penetrasi 25°C, 100 gr, 5 detik		Pembacaan suhu penetrometer temperatur 25°C
	Mulai	11.33	
	Selesai	11.38	
Penetrasi pada suhu 25°C, beban 100 gr, 5 detik		A	B
Pengamatan			
1		66	63
2		63	63
3		65	61
4		65	64
5		64	62
Rata-rata		65	65
Rata-rata (A,B)		65	

Proyek : Penelitian Tesis  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pelaksana :  
Pengujian :

## DAKTILITAS

SNI 06 – 2432 – 1991

Tanggal Pengujian : 22 Oktober 2018  
Jenis Material : Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina

### Pengambilan Data

Pembukaan Benda Uji	Perlakuan	Pembacaan Waktu	Pembacaan Suhu
	Benda Uji dipanaskan		Pembacaan suhu oven temperatur 110°C
	Mulai	13.37	
	selesai	13.49	
Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	13.50	
	Selesai	14.50	
Perendaman Benda Uji	Suhu perendaman 25°C		Pembacaan suhu waterbath temperatur 25°C
	Mulai	14.50	
	Selesai	15.50	
Pengujian	Alat		Pembacaan suhu alat temperature 25°C
	Mulai	15.50	
	Selesai	16.10	

Daktalitas suhu 25°C		Pembacaan Alat
5 cm per menit		cm
Pengamatan	1	110 cm
	2	120 cm
Rata-rata		115 cm

Proyek : Penelitian Tesis  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pelaksana :  
Pengujian :

## **TITIK LEMBEEK ASPAL**

SNI 06 – 2434 – 1991

Tanggal Pengujian : 22 Oktober 2018  
Jenis Material : Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina

### **Pengambilan Data**

Pembukaan Benda Uji	Perlakuan	Pembacaan Waktu	Pembacaan Suhu
	Benda Uji dipanaskan		Pembacaan suhu oven temperatur 110°C
	Mulai	09.15	
	selesai	09.30	
Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	09.39	
	Selesai	10.39	
Perendaman Benda Uji	Suhu perendaman 25°C		Pembacaan suhu waterbath temperatur 25°C
	Mulai	10.39	
	Selesai	11.39	
Pengujian	Alat		Pembacaan suhu penetrometer temperatur 25°C
	Mulai	11.39	
	Selesai	11.42	

No	Waktu	Suhu
I	2:32,22	55°C
II	2:34,37	56°C
Selisih	2,15	1°C

Proyek : Penelitian Tesis  
Lokasi : Lab. Perhubungan Dan Bahan Konstruksi Jalan ITS  
Pelaksana :  
Pengujian :

## **TITIK NYALA DAN BAKAR**

SNI 06 – 2433 – 1991

Tanggal Pengujian : 22 Oktober 2018  
Jenis Material : Aspal Pen. 60/70 ex. Pertamina

### Pengambilan Data

Pembukaan Benda Uji	Perlakuan	Pembacaan Waktu	Pembacaan Suhu
	Benda Uji dipanaskan		Pembacaan suhu oven temperatur 110°C
	Mulai	14.37	
	selesai	14.48	
Penuangan Benda Uji	Didiamkan pada suhu ruang		Pembacaan suhu menuang temperatur 110°C
	Mulai	14.54	
	Selesai	14.56	
Pengujian	Alat		
	Mulai	14.58	
	Selesai	15.17	

Titik Nyala dan Titik Bakar	Pembacaan Pengukuran Pada Alat
Pengamatan I	331°C
Pengamatan II	329°C

## LAMPIRAN B



## Lampiran B.1 Formulir Perhitungan Karakteristik Marshall

### B.1.1. Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal Penentuan KAO 100% AA FAA

Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Tebal Benda Uji cm	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji cm <sup>3</sup>	Kepadatan (Berat Isi) (Gmb) g/cm <sup>3</sup>	BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis)	VIM 3 - 4 %	VMA ≥ 15 %	VFA 76-82 %	Stabilitas ≥ 976.1		Kelelahan 2 - 4 mm	MQ ≥ 250 kg/mm
	Terhadap Campuran %	Terhadap Agregat %		Kering gram	SSD gram	Dalam Air gram							Bacaan Alat kg	Setelah Koreksi kg		
a	b	c	d	e	f	g	h = (f - g)	i = (e / h)	j	k	l	m	n	o	p	q
A.1.1	4.50	4.71	6.77	1180.40	1190.00	667.00	523.00	2.26	2.48	8.95	22.67	60.51	610.00	1935.48	3.90	496.28
A.1.2	4.50	4.71	6.66	1185.00	1198.20	672.00	526.20	2.25	2.48	9.15	22.84	59.92	690.00	2189.31	3.20	684.16
A.1.3	4.50	4.71	6.66	1182.10	1195.80	670.00	525.80	2.25	2.48	9.31	22.97	59.48	705.00	2236.91	3.20	699.03
Rata-rata	<b>4.50</b>	<b>4.71</b>	<b>6.70</b>	<b>1182.50</b>	<b>1194.67</b>	<b>669.67</b>	<b>525.00</b>	<b>2.25</b>	<b>2.48</b>	<b>9.14</b>	<b>22.83</b>	<b>59.97</b>	<b>668.33</b>	<b>2120.56</b>	<b>3.43</b>	<b>626.49</b>
A.2.1	5.00	5.26	6.68	1194.40	1207.30	680.00	527.30	2.27	2.46	7.96	22.82	65.14	770.00	2443.14	2.90	842.46
A.2.2	5.00	5.26	6.66	1185.50	1197.90	676.00	521.90	2.27	2.46	7.70	22.60	65.95	720.00	2379.69	3.10	767.64
A.2.3	5.00	5.26	6.63	1178.00	1190.10	670.00	520.10	2.26	2.46	7.96	22.82	65.11	720.00	2379.69	3.00	793.23
Rata-rata	<b>5.00</b>	<b>5.26</b>	<b>6.66</b>	<b>1185.97</b>	<b>1198.43</b>	<b>675.33</b>	<b>523.10</b>	<b>2.27</b>	<b>2.46</b>	<b>7.87</b>	<b>22.75</b>	<b>65.40</b>	<b>736.67</b>	<b>2400.84</b>	<b>3.00</b>	<b>801.11</b>
A.3.1	5.50	5.82	6.61	1191.00	1200.50	686.00	514.50	2.31	2.44	5.25	21.56	75.65	800.00	2644.10	3.30	801.24
A.3.2	5.50	5.82	6.37	1172.10	1179.80	680.00	499.80	2.35	2.44	4.01	20.53	80.47	840.00	2887.35	3.50	824.96
A.3.3	5.50	5.82	6.52	1191.10	1202.10	689.00	513.10	2.32	2.44	4.98	21.34	76.65	845.00	2792.83	3.10	900.91
Rata-rata	<b>5.50</b>	<b>5.82</b>	<b>6.50</b>	<b>1184.73</b>	<b>1194.13</b>	<b>685.00</b>	<b>509.13</b>	<b>2.33</b>	<b>2.44</b>	<b>4.75</b>	<b>21.14</b>	<b>77.59</b>	<b>828.33</b>	<b>2774.76</b>	<b>3.30</b>	<b>842.37</b>
A.4.1	6.00	6.38	6.49	1181.80	1187.50	687.00	500.50	2.36	2.43	2.65	20.43	87.02	840.00	2887.35	3.00	962.45
A.4.2	6.00	6.38	6.43	1185.30	1189.70	687.00	502.70	2.36	2.43	2.79	20.55	86.41	835.00	2870.17	3.10	925.86
A.4.3	6.00	6.38	6.59	1163.90	1172.70	681.00	491.70	2.37	2.43	2.41	20.24	88.08	760.00	2737.96	3.20	855.61
Rata-rata	<b>6.00</b>	<b>6.38</b>	<b>6.50</b>	<b>1177.00</b>	<b>1183.30</b>	<b>685.00</b>	<b>498.30</b>	<b>2.36</b>	<b>2.43</b>	<b>2.62</b>	<b>20.40</b>	<b>87.17</b>	<b>811.67</b>	<b>2831.83</b>	<b>3.10</b>	<b>914.64</b>
A.5.1	6.50	6.95	6.28	1189.40	1199.20	690.00	509.20	2.34	2.41	3.01	21.73	86.15	750.00	2478.84	3.50	708.24
A.5.2	6.50	6.95	6.27	1190.50	1200.30	690.00	510.30	2.33	2.41	3.13	21.83	85.66	710.00	2557.83	2.80	913.51
A.5.3	6.50	6.95	6.29	1185.80	1198.40	689.00	509.40	2.33	2.41	3.34	22.00	84.81	720.00	2379.69	3.60	661.02
Rata-rata	<b>6.50</b>	<b>6.95</b>	<b>6.28</b>	<b>1188.57</b>	<b>1199.30</b>	<b>689.67</b>	<b>509.63</b>	<b>2.33</b>	<b>2.41</b>	<b>3.16</b>	<b>21.85</b>	<b>85.54</b>	<b>726.67</b>	<b>2472.12</b>	<b>3.30</b>	<b>760.93</b>

B.1.2. Tabel Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal Penentuan KAO 25% AB 25% ABSC 50% AA FAA

Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Tebal Benda Uji	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji	Kepadatan (Berat Isi) (Gmb)	BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis)	VIM 3 - 4	VMA ≥ 15	VFA 76-82	Stabilitas ≥ 976.1		Kelelahan 2 - 4	MQ ≥ 250
	Terhadap Campuran	Terhadap Agregat		Kering	SSD	Dalam Air							Bacaan Alat	Setelah Koreksi		
	%	%		gram	gram	gram							kg	kg		
a	b	c	d	e	f	g	$h = (f - g)$	$i = (e / h)$	j	k	l	m	n	o	p	q
A.1.1	4.50	4.71	7.39	1170.00	1181.40	615.00	566.40	2.07	2.22	6.75	15.70	56.99	570.00	1620.17	4.00	405.04
A.1.2	4.50	4.71	7.39	1165.50	1197.10	626.00	571.10	2.04	2.22	7.87	16.71	52.89	570.00	1620.17	4.90	330.65
A.1.3	4.50	4.71	7.41	1155.60	1183.40	620.00	563.40	2.05	2.22	7.41	16.29	54.53	510.00	1449.63	3.00	483.21
Rata-rata	<b>4.50</b>	<b>4.71</b>	<b>7.40</b>	<b>1163.70</b>	<b>1187.30</b>	<b>620.33</b>	<b>566.97</b>	<b>2.05</b>	<b>2.22</b>	<b>7.34</b>	<b>16.23</b>	<b>54.80</b>	<b>550.00</b>	<b>1563.32</b>	<b>3.97</b>	<b>406.30</b>
A.2.1	5.00	5.26	7.19	1163.60	1189.20	625.00	564.20	2.06	2.20	6.34	16.27	61.03	600.00	1705.44	3.30	516.80
A.2.2	5.00	5.26	7.21	1164.00	1189.80	626.00	563.80	2.06	2.20	5.97	15.93	62.51	585.00	1662.81	1.80	923.78
A.2.3	5.00	5.26	7.20	1165.00	1195.60	629.00	566.60	2.06	2.20	6.36	16.27	60.94	580.00	1648.59	5.50	299.74
Rata-rata	<b>5.00</b>	<b>5.26</b>	<b>7.20</b>	<b>1164.20</b>	<b>1191.53</b>	<b>626.67</b>	<b>564.87</b>	<b>2.06</b>	<b>2.20</b>	<b>6.22</b>	<b>16.16</b>	<b>61.50</b>	<b>588.33</b>	<b>1672.28</b>	<b>3.53</b>	<b>580.11</b>
A.3.1	5.50	5.82	7.14	1161.80	1183.70	626.00	557.70	2.08	2.19	4.83	15.87	69.55	510.00	1685.61	2.80	602.00
A.3.2	5.50	5.82	7.18	1166.80	1192.00	629.00	563.00	2.07	2.19	5.32	16.30	67.36	515.00	1702.14	2.90	586.94
A.3.3	5.50	5.82	7.21	1169.30	1191.40	628.00	563.40	2.08	2.19	5.19	16.18	67.95	570.00	1883.92	3.10	607.72
Rata-rata	<b>5.50</b>	<b>5.82</b>	<b>7.18</b>	<b>1165.97</b>	<b>1189.03</b>	<b>627.67</b>	<b>561.37</b>	<b>2.08</b>	<b>2.19</b>	<b>5.11</b>	<b>16.12</b>	<b>68.29</b>	<b>531.67</b>	<b>1757.22</b>	<b>2.93</b>	<b>598.89</b>
A.4.1	6.00	6.38	7.17	1166.70	1189.40	629.00	560.40	2.08	2.18	4.33	16.37	73.56	480.00	1649.92	3.80	434.19
A.4.2	6.00	6.38	7.11	1170.20	1187.00	628.00	559.00	2.09	2.18	3.80	15.91	76.11	515.00	1770.22	3.60	491.73
A.4.3	6.00	6.38	7.17	1168.90	1191.00	626.00	565.00	2.07	2.18	4.93	16.89	70.83	570.00	2053.47	2.90	708.09
Rata-rata	<b>6.00</b>	<b>6.38</b>	<b>7.15</b>	<b>1168.60</b>	<b>1189.13</b>	<b>627.67</b>	<b>561.47</b>	<b>2.08</b>	<b>2.18</b>	<b>4.35</b>	<b>16.39</b>	<b>73.50</b>	<b>521.67</b>	<b>1824.54</b>	<b>3.43</b>	<b>544.67</b>
A.5.1	6.50	6.95	7.05	1168.00	1183.00	624.00	559.00	2.09	2.16	3.42	16.51	79.31	530.00	1751.71	2.60	673.74
A.5.2	6.50	6.95	7.08	1175.50	1190.80	631.00	559.80	2.10	2.16	2.94	16.10	81.76	520.00	1873.34	2.50	749.34
A.5.3	6.50	6.95	7.12	1173.40	1189.80	627.00	562.80	2.08	2.16	3.63	16.69	78.28	460.00	1520.36	2.60	584.75
Rata-rata	<b>6.50</b>	<b>6.95</b>	<b>7.08</b>	<b>1172.30</b>	<b>1187.87</b>	<b>627.33</b>	<b>560.53</b>	<b>2.09</b>	<b>2.16</b>	<b>3.33</b>	<b>16.43</b>	<b>79.79</b>	<b>503.33</b>	<b>1715.14</b>	<b>2.57</b>	<b>669.27</b>

## Lampiran B.1 Formulir Perhitungan Karakteristik Marshall

### B.1.3. Tabel Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal Penentuan KAO 25% AB 75% ABSC FAA

Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Tebal Benda Uji cm	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji cm <sup>3</sup> h = (f - g)	Kepadatan (Berat Isi) (Gmb) g/cm <sup>3</sup> i = (e / h)	BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis) j	VIM 3 - 4 %	VMA ≥ 15 %	VFA 76-82 %	Stabilitas ≥ 976.1		Kelelehan 2 - 4 mm	MQ ≥ 250 kg/mm
	Terhadap Campuran %	Terhadap Agregat %		Kering gram	SSD gram	Dalam Air gram							Bacaan Alat kg	Setelah Koreksi kg		
a	b	c	d	e	f	g	h = (f - g)	i = (e / h)	j	k	l	m	n	o	p	q
A.1.1	4.50	4.71	6.72	975.00	989.00	485.00	504.00	1.93	2.16	10.60	21.05	49.66	360.00	1189.84	2.30	517.32
A.1.2	4.50	4.71	6.64	974.00	992.00	483.00	509.00	1.91	2.16	11.56	21.90	47.20	295.00	936.01	4.60	203.48
A.1.3	4.50	4.71	6.73	974.80	991.00	485.00	506.00	1.93	2.16	10.97	21.38	48.69	300.00	951.87	3.90	244.07
Rata-rata	<b>4.50</b>	<b>4.71</b>	<b>6.70</b>	<b>974.60</b>	<b>990.67</b>	<b>484.33</b>	<b>506.33</b>	<b>1.92</b>	<b>2.16</b>	<b>11.04</b>	<b>21.44</b>	<b>48.52</b>	<b>318.33</b>	<b>1025.91</b>	<b>3.60</b>	<b>321.62</b>
A.2.1	5.00	5.26	6.50	978.00	985.30	488.00	497.30	1.97	2.15	8.59	20.16	57.38	400.00	1269.17	4.40	288.45
A.2.2	5.00	5.26	6.73	980.00	991.50	489.00	502.50	1.95	2.15	9.35	20.59	54.57	420.00	1388.15	2.00	694.08
A.2.3	5.00	5.26	6.71	982.50	993.60	486.00	507.60	1.94	2.15	10.03	21.18	52.63	430.00	1421.20	5.50	258.40
Rata-rata	<b>5.00</b>	<b>5.26</b>	<b>6.65</b>	<b>980.17</b>	<b>990.13</b>	<b>487.67</b>	<b>502.47</b>	<b>1.95</b>	<b>2.15</b>	<b>9.33</b>	<b>20.64</b>	<b>54.86</b>	<b>416.67</b>	<b>1359.51</b>	<b>3.40</b>	<b>413.64</b>
A.3.1	5.50	5.82	6.50	945.90	955.00	479.00	476.00	1.99	2.14	7.11	19.75	64.00	420.00	1388.15	1.80	771.19
A.3.2	5.50	5.82	6.51	958.80	968.50	482.00	486.50	1.97	2.14	7.87	20.41	61.42	430.00	1421.20	3.50	406.06
A.3.3	5.50	5.82	6.58	955.70	965.10	480.00	485.10	1.97	2.14	7.91	20.44	61.31	450.00	1487.30	2.30	646.65
Rata-rata	<b>5.50</b>	<b>5.82</b>	<b>6.53</b>	<b>953.47</b>	<b>962.87</b>	<b>480.33</b>	<b>482.53</b>	<b>1.98</b>	<b>2.14</b>	<b>7.63</b>	<b>20.20</b>	<b>62.24</b>	<b>433.33</b>	<b>1432.22</b>	<b>2.53</b>	<b>607.97</b>
A.4.1	6.00	6.38	6.51	965.10	972.00	489.00	483.00	2.00	2.13	6.07	19.73	69.25	460.00	1581.17	3.70	427.34
A.4.2	6.00	6.38	6.50	956.90	963.10	480.00	483.10	1.98	2.13	6.89	20.43	66.30	455.00	1563.98	4.20	372.38
A.4.3	6.00	6.38	6.40	961.20	970.20	485.00	485.20	1.98	2.13	6.87	20.42	66.35	475.00	1711.23	3.10	552.01
Rata-rata	<b>6.00</b>	<b>6.38</b>	<b>6.47</b>	<b>961.07</b>	<b>968.43</b>	<b>484.67</b>	<b>483.77</b>	<b>1.99</b>	<b>2.13</b>	<b>6.61</b>	<b>20.19</b>	<b>67.30</b>	<b>463.33</b>	<b>1618.79</b>	<b>3.67</b>	<b>450.58</b>
A.5.1	6.50	6.95	6.36	965.00	968.50	494.00	474.50	2.03	2.12	3.86	18.74	79.42	440.00	1454.25	1.80	807.92
A.5.2	6.50	6.95	6.40	950.60	955.80	488.00	467.80	2.03	2.12	3.93	18.80	79.07	450.00	1621.16	3.10	522.96
A.5.3	6.50	6.95	6.40	955.00	959.70	490.00	469.70	2.03	2.12	3.88	18.76	79.31	470.00	1553.41	3.40	456.88
Rata-rata	<b>6.50</b>	<b>6.95</b>	<b>6.39</b>	<b>956.87</b>	<b>961.33</b>	<b>490.67</b>	<b>470.67</b>	<b>2.03</b>	<b>2.12</b>	<b>3.89</b>	<b>18.77</b>	<b>79.27</b>	<b>453.33</b>	<b>1542.94</b>	<b>2.77</b>	<b>595.92</b>

**B.1.4. Tabel Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal Penentuan KAO 25% AB 75% AA FAA**

No. Briket			Tebal Benda Uji	Kadar Aspal Pb	Kadar Agregat	Berat Benda Uji			volume benda uji	BJ Campuran		Vol. total aspal	Vol. total agregat	VIM 3.5	VMA ≥ 15	VFB 76-82	Stabilitas			flow 2.5-4	MQ ≥ 250
						Kering	SSD	Dalam Air		Kepadatan (Berat isi)	Maksimum (Teoritis)						Bacaan Alat	Angka Koreksi	Setelah Koreksi		
			mm	%	%	gr	gr	Gr		Gmb	Gmm	%	%	%	%	%				mm	kg/mm
a			b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
4.5	-	I	71.4	4.5	95.5	1167.1	1209.1	656	553.1	2.11	2.38	9.86	84.99	7.41	19.89	62.75	460	0.83	1261.895	3.20	394.34
		II	70.7	4.5	95.5	1177.9	1207.5	667	540.5	2.18	2.38	9.86	85.05	4.38	17.27	74.66	530	0.84	1477.278	2.60	568.18
		III	71.0	4.5	95.5	1174.2	1208.9	663	545.9	2.15	2.38	9.73	83.91	5.62	18.34	69.37	550	0.84	1523.330	3.00	507.78
Rata-rata									546.5	2.15	2.38	9.82	84.65	5.80	18.50	68.92	513	0.84	1420.834	2.93	490.10
5	-	I	69.5	5	95	1168.1	1206.2	667	539.2	2.17	2.37	11.11	85.77	4.34	18.19	76.12	655	0.87	1878.010	3.30	569.09
		II	69.3	5	95	1172.4	1202.3	663	539.3	2.17	2.37	11.15	86.06	4.01	17.90	77.60	550	0.87	1582.636	2.70	586.16
		III	69.4	5	95	1176.5	1206.1	670	536.1	2.19	2.37	11.02	85.06	3.10	17.12	81.90	595	0.87	1709.666	2.90	589.54
Rata-rata									538.2	2.18	2.37	11.09	85.63	3.82	17.74	78.54	600	0.87	1723.438	2.97	581.60
5.5	-	I	68.3	5.5	94.5	1174.8	1199.9	665	534.9	2.20	2.35	12.15	84.85	2.42	17.49	86.20	625	0.89	1838.473	4.00	459.62
		II	68.0	5.5	94.5	1175.2	1206.3	665	541.3	2.17	2.35	12.03	84.00	3.54	18.44	80.83	615	0.90	1822.608	3.50	520.75
		III	68.4	5.5	94.5	1171.1	1195.8	661	534.8	2.19	2.35	12.07	84.28	2.70	17.74	84.76	570	0.89	1674.332	2.80	597.98
Rata-rata									537	2.19	2.35	12.08	84.38	2.89	17.89	83.93	603	0.89	1778.471	3.43	526.11
6	-	I	67.5	6	94	1176	1192.8	665	527.8	2.23	2.34	13.46	85.67	0.39	16.74	97.70	540	0.91	1625.623	3.00	541.87
		II	66.5	6	94	1164.5	1182.4	653	529.4	2.20	2.34	13.28	84.57	1.66	17.81	90.69	650	0.93	2006.001	4.00	501.50
		III	67.4	6	94	1165.3	1179.9	653	526.9	2.21	2.34	13.36	85.04	1.12	17.36	93.53	590	0.91	1777.769	3.40	522.87
Rata-rata									528	2.21	2.34	13.36	85.09	1.06	17.30	93.97	593	0.92	1803.131	3.47	522.08
6.5	-	I	66.6	6.5	93.5	1162.4	1180.6	653	527.6	2.20	2.32	14.42	84.26	0.89	18.11	95.08	545	0.93	1677.452	3.30	508.32
		II	66.4	6.5	93.5	1155.9	1174.9	650	524.9	2.20	2.32	14.41	84.24	0.94	18.15	94.83	620	0.94	1918.540	3.00	639.51
		III	66.9	6.5	93.5	1164.6	1181.4	655	526.4	2.21	2.32	14.48	84.62	0.48	17.77	97.31	585	0.91	1759.481	4.20	418.92
Rata-rata									526.3	2.21	2.32	14.43	84.38	0.77	18.01	95.74	583	0.93	1785.157	3.50	522.25

**B.1.5. Tabel Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal Penentuan KAO 100% AA BBA**

Nomor	Kadar Aspal		Tebal	Berat Benda Uji			Isi	Kepadatan	BJ Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	≥ 976.1	Kelelahan	MQ
Benda	Terhadap	Terhadap	Benda	Kering	SSD	Dalam Air	Benda	(Berat Isi)	Maksimum	3 - 4	≥ 15	76-82	Bacaan	Setelah		
Uji	Campuran	Agregat	Uji				Uji	(Gmb)	(Gmm)				Alat	Koreksi	2 - 4	≥ 250
	%	%	cm	gram	gram	gram	cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	(teoritis)	%	%	%	kg	kg	mm	kg/mm
a	b	c	d	e	f	g	h = (f - g)	i = (e / h)	j	k	l	m	n	o	p	q
A.1.1	5.00	5.26	6.56	1178.00	1188.60	670.00	518.60	2.27	2.45	7.23	22.12	67.33	490.00	1619.51	4.90	330.51
A.1.2	5.00	5.26	6.59	1181.70	1197.00	675.00	522.00	2.26	2.45	7.54	22.39	66.31	500.00	1586.46	2.80	566.59
1	5.00	5.26	6.63	1186.00	1200.20	678.00	522.20	2.27	2.45	7.24	22.13	67.29	480.00	1523.00	1.10	1384.54
Rata-rata	5.00	5.26	6.59	1181.90	1195.27	674.33	520.93	2.27	2.45	7.34	22.21	66.98	490.00	1576.32	2.93	760.55
A.2.1	5.50	5.82	6.49	1181.80	1191.20	675.00	516.20	2.29	2.43	5.82	21.96	73.49	490.00	1619.51	1.90	852.37
A.2.2	5.50	5.82	6.71	1180.40	1190.00	675.00	515.00	2.29	2.43	5.71	21.87	73.87	500.00	1586.46	2.85	556.65
A.2.3	5.50	5.82	6.51	1174.80	1185.50	672.00	513.50	2.29	2.43	5.89	22.01	73.26	510.00	1685.61	2.35	717.28
Rata-rata	5.50	5.82	6.57	1179.00	1188.90	674.00	514.90	2.29	2.43	5.81	21.94	73.54	500.00	1630.53	2.37	708.77
A.3.1	6.00	6.38	6.21	1188.10	1192.10	680.00	512.10	2.32	2.41	3.88	21.37	81.85	545.00	1873.34	2.30	814.50
A.3.2	6.00	6.38	6.23	1181.00	1185.20	676.00	509.20	2.32	2.41	3.91	21.39	81.73	570.00	1959.28	2.70	725.66
A.3.3	6.00	6.38	6.22	1193.70	1195.00	680.00	515.00	2.32	2.41	3.97	21.44	81.49	550.00	1890.53	4.85	389.80
Rata-rata	6.00	6.38	6.22	1187.60	1190.77	678.67	512.10	2.32	2.41	3.92	21.40	81.69	555.00	1907.72	3.28	643.32
A.4.1	6.50	6.95	6.25	1197.50	1202.60	692.00	510.60	2.35	2.40	2.14	20.97	89.79	520.00	1787.41	4.00	446.85
A.4.2	6.50	6.95	6.17	1179.00	1189.30	687.00	502.30	2.35	2.40	2.06	20.91	90.14	520.00	1787.41	4.50	397.20
A.4.3	6.50	6.95	6.22	1190.40	1197.60	690.00	507.60	2.35	2.40	2.15	20.97	89.77	510.00	1753.04	3.00	584.35
Rata-rata	6.50	6.95	6.21	1188.97	1196.50	689.67	506.83	2.35	2.40	2.12	20.95	89.90	516.67	1775.95	3.83	476.13
A.5.1	7.00	7.53	6.28	1198.70	1206.50	690.00	516.50	2.32	2.38	2.48	22.25	88.86	380.00	1255.95	3.20	392.48
A.5.2	7.00	7.53	6.26	1175.70	1184.10	675.00	509.10	2.31	2.38	2.96	22.63	86.92	390.00	1340.56	3.90	343.73
A.5.3	7.00	7.53	6.12	1191.60	1200.10	685.00	515.10	2.31	2.38	2.79	22.50	87.59	370.00	1222.89	5.50	222.34
Rata-rata	7.00	7.53	6.22	1188.67	1196.90	683.33	513.57	2.31	2.38	2.74	22.46	87.79	380.00	1273.13	4.20	319.52

**B.1.6. Tabel Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal Penentuan KAO 25% AB 75% AA BBA**

No. Briket			Tebal Benda Uji	Kadar Aspal Pb	Kadar Agregat	Berat Benda Uji			volume benda uji	BJ Campuran		Vol. total aspal	Vol. total agregat	VIM 3.5	VMA ≥ 15	VFB 76-82	Stabilitas			flow 2.5-4	MQ ≥ 250
						Kering	SSD	Dalam Air		Kepadatan (Berat isi)	Maksimum (Teoritis)						Bacaan Alat	Angka Koreksi	Setelah Koreksi		
			mm	%	%	gr	gr	Gr		Gmb	Gmm	%	%	%	%	%				mm	kg/mm
a			b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
5	-	I	71.9	5	95	1173.4	1194.7	655	539.7	2.17	2.36	10.53	81.61	7.86	18.39	57.26	620	0.82	1687.154	4.40	383.44
		II	71.3	5	95	1158.7	1181.1	650	526.1	2.20	2.36	10.56	81.90	7.54	18.10	58.36	725	0.83	1995.246	3.30	604.62
		III	69.0	5	95	1177.1	1195	660	533	2.21	2.36	10.65	82.59	6.76	17.41	61.20	640	0.88	1856.155	3.30	562.47
Rata-rata									532.93	2.20	2.36	10.58	82.03	7.39	17.97	58.94	662	0.84	1846.18	3.67	516.8
5.5	-	I	69.4	5.5	94.5	1177.5	1199.8	668	536.8	2.19	2.35	11.79	82.68	5.53	17.32	68.09	640	0.87	1840.291	3.10	593.64
		II	71.3	5.5	94.5	1166.5	1186	657	529	2.21	2.35	11.75	82.34	5.92	17.66	66.51	750	0.83	2062.395	3.90	528.82
		III	68.1	5.5	94.5	1180.9	1196.9	665	531.9	2.22	2.35	11.83	82.90	5.28	17.10	69.16	705	0.90	2085.448	4.10	508.65
Rata-rata									532.56	2.21	2.35	11.79	82.64	5.58	17.36	67.92	698	0.87	1996.045	3.70	543.7
6	-	I	69.3	6	94	1189.4	1206.4	671	532.4	2.23	2.33	12.91	82.51	4.58	17.49	73.82	700	0.87	2015.71	4.00	503.93
		II	68.5	6	94	1194.5	1210.1	676	534.1	2.24	2.33	13.00	83.07	3.94	16.93	76.76	710	0.89	2081.172	4.00	520.29
		III	68.1	6	94	1181.5	1196.4	671	525.4	2.25	2.33	13.07	83.53	3.41	16.47	79.32	600	0.90	1776.502	3.90	455.51
Rata-rata									530.63	2.24	2.33	12.99	83.04	3.98	16.96	76.63	670	0.88	1957.795	3.97	493.2
6.5	-	I	67.4	6.5	93.5	1187.8	1197.8	679	518.8	2.29	2.32	14.41	84.59	1.01	15.41	93.51	600	0.91	1807.901	4.10	440.95
		II	68.1	6.5	93.5	1192.6	1198.5	677	528	2.26	2.32	14.40	84.49	1.12	15.51	92.81	595	0.90	1761.698	4.00	440.42
		III	67.1	6.5	93.5	1186.7	1192.9	673	523.9	2.27	2.32	14.37	84.33	1.31	15.67	91.70	550	0.92	1673.906	3.90	429.21
Rata-rata									523.56	2.27	2.32	14.39	84.47	1.15	15.53	92.67	582	0.91	1747.835	4.00	436.9
7	-	I	66.6	7	93	1177.9	1197.7	680	517.7	2.30	2.30	15.43	83.61	0.97	16.39	94.11	555	0.93	1708.231	4.00	427.06
		II	66.5	7	93	1189.3	1196	675	521	2.28	2.30	15.48	83.88	0.65	16.12	96.03	580	0.93	1789.97	4.30	416.27
		III	67.2	7	93	1180.2	1198.5	679	519.5	2.29	2.30	15.40	83.48	1.12	16.52	93.25	500	0.92	1514.847	3.90	388.42
Rata-rata									519.4	2.29	2.30	15.43	83.66	0.91	16.34	94.47	545	0.93	1671.016	4.07	410.6

**B.1.7. Tabel Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal Penentuan KAO 25% AB 25% ABSC 50% AA BBA**

Nomor	Kadar Aspal		Tebal	Berat Benda Uji			Isi	Kepadatan	BJ Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	≥ 976.1	Kelelehan	MQ
Benda	Terhadap	Terhadap	Benda	Kering	SSD	Dalam Air	Benda	(Berat Isi)	Maksimum				Bacaan	Setelah		
Uji	Campuran	Agregat	Uji				Uji	(Gmb)	(Gmm)	3 - 4	≥ 15	76-82	Alat	Koreksi	2 - 4	≥ 250
	%	%	cm	gram	gram	gram	cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	(teoritis)	%	%	%	kg	kg	mm	kg/mm
a	b	c	d	e	f	g	h = (f - g)	i = (e / h)	j	k	l	m	n	o	p	q
A.1.1	5.00	5.26	7.22	1183.60	1216.30	652.00	564.30	2.10	2.27	7.66	20.15	61.96	610.00	1733.87	2.00	866.93
A.1.2	5.00	5.26	7.24	1183.90	1215.30	651.00	564.30	2.10	2.27	7.64	20.13	62.03	590.00	1677.02	3.00	559.01
A.1.3	5.00	5.26	7.31	1171.60	1200.60	651.00	549.60	2.13	2.27	6.16	18.84	67.33	580.00	1648.59	4.20	392.52
Rata-rata	5.00	5.26	7.26	1179.70	1210.73	651.33	559.40	2.11	2.27	7.15	19.70	63.77	593.33	1686.49	3.07	606.15
A.2.1	5.50	5.82	7.11	1182.70	1212.80	654.00	558.80	2.12	2.26	6.24	19.88	68.62	650.00	1847.56	5.30	348.60
A.2.2	5.50	5.82	7.15	1176.00	1204.30	649.00	555.30	2.12	2.26	6.18	19.83	68.83	650.00	1847.56	3.80	486.20
A.2.3	5.50	5.82	7.07	1185.80	1210.00	655.00	555.00	2.14	2.26	5.35	19.12	72.03	740.00	2103.38	3.90	539.33
Rata-rata	5.50	5.82	7.11	1181.50	1209.03	652.67	556.37	2.12	2.26	5.92	19.61	69.83	680.00	1932.83	3.40	458.04
A.3.1	6.00	6.38	7.03	1159.30	1183.30	638.00	545.30	2.13	2.24	5.23	19.99	73.84	595.00	1966.55	4.60	427.51
A.3.2	6.00	6.38	7.09	1159.70	1184.80	634.00	550.80	2.11	2.24	6.14	20.76	70.41	695.00	2297.06	4.40	522.06
A.3.3	6.00	6.38	7.04	1179.10	1197.90	646.00	551.90	2.14	2.24	4.76	19.59	75.70	640.00	2115.28	3.10	682.35
Rata-rata	6.00	6.38	7.06	1166.03	1188.67	639.33	549.33	2.12	2.24	5.38	20.11	73.32	643.33	2126.29	4.03	543.97
A.4.1	6.50	6.95	6.75	1170.00	1184.70	640.00	544.70	2.15	2.23	3.65	19.63	81.40	660.00	2268.63	3.80	597.01
A.4.2	6.50	6.95	7.00	1174.50	1193.50	645.00	548.50	2.14	2.23	3.95	19.88	80.12	550.00	1890.53	3.60	525.15
A.4.3	6.50	6.95	7.17	1174.10	1192.90	645.00	547.90	2.14	2.23	3.88	19.81	80.43	655.00	2359.69	3.80	620.97
Rata-rata	6.50	6.95	6.97	1172.87	1190.37	643.33	547.03	2.14	2.23	3.83	19.77	80.65	621.67	2172.95	3.73	581.04
A.5.1	7.00	7.53	6.74	1171.90	1184.20	644.00	540.20	2.17	2.22	2.09	19.30	89.18	520.00	1718.66	3.70	464.50
A.5.2	7.00	7.53	6.74	1170.40	1183.80	647.00	536.80	2.18	2.22	1.59	18.89	91.56	560.00	2017.45	5.70	353.94
A.5.3	7.00	7.53	6.84	1170.80	1181.90	642.00	539.90	2.17	2.22	2.13	19.33	89.00	530.00	1751.71	5.10	343.47
Rata-rata	7.00	7.53	6.77	1171.03	1183.30	644.33	538.97	2.17	2.22	1.94	19.17	89.92	536.67	1829.27	4.83	387.30

### B.1.8. Tabel Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal Penentuan KAO 25% AB 75% ABSC BBA

Nomor	Kadar Aspal		Tebal	Berat Benda Uji			Isi	Kepadatan	BJ Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	≥ 976.1	Kelelahan	MQ
Benda	Terhadap	Terhadap	Benda	Kering	SSD	Dalam Air	Benda	(Berat Isi)	Maksimum				Bacaan	Setelah		
Uji	Campuran	Agregat	Uji				Uji	(Gmb)	(Gmm)	3 - 4	≥ 15	76-82	Alat	Koreksi	2 - 4	≥ 250
	%	%	cm	gram	gram	gram	cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	(teoritis)	%	%	%	kg	kg	mm	kg/mm
a	b	c	d	e	f	g	h = (f - g)	i = (e / h)	j	k	l	m	n	o	p	q
A.1.1	5.00	5.26	6.51	944.70	1001.50	491.00	510.50	1.85	2.14	13.41	24.48	45.20	405.00	1338.57	4.70	284.80
A.1.2	5.00	5.26	6.57	910.00	968.00	484.00	484.00	1.88	2.14	12.03	23.27	48.31	400.00	1441.03	3.60	400.29
A.1.3	5.00	5.26	6.60	948.00	1011.30	501.00	510.30	1.86	2.14	13.08	24.18	45.93	410.00	1355.10	10.00	135.51
Rata-rata	5.00	5.26	6.56	934.23	993.60	492.00	501.60	1.86	2.14	12.84	23.97	46.48	405.00	1378.24	6.10	273.53
A.2.1	5.50	5.82	6.49	952.40	982.10	489.00	493.10	1.93	2.13	9.12	21.59	57.76	460.00	1581.17	5.40	292.81
A.2.2	5.50	5.82	6.50	942.80	973.60	491.00	482.60	1.95	2.13	8.08	20.45	60.50	470.00	1770.88	5.70	310.68
A.2.3	5.50	5.82	6.58	939.10	971.20	488.00	483.20	1.94	2.13	8.55	20.86	59.01	460.00	1657.19	6.20	267.29
Rata-rata	5.50	5.82	6.52	944.77	975.63	489.33	486.30	1.94	2.13	8.58	20.97	59.09	463.33	1669.75	3.40	290.26
A.3.1	6.00	6.38	6.42	960.90	975.00	495.00	480.00	2.00	2.11	5.28	19.16	72.45	550.00	1817.82	2.70	673.27
A.3.2	6.00	6.38	6.49	943.80	968.20	495.00	473.20	1.99	2.11	5.63	19.45	71.08	535.00	1768.24	3.90	453.39
A.3.3	6.00	6.38	6.51	923.20	958.30	494.00	464.30	1.99	2.11	5.92	19.70	69.97	560.00	1850.87	3.70	500.23
Rata-rata	6.00	6.38	6.47	942.63	967.17	494.67	472.50	1.99	2.11	5.61	19.44	71.16	548.33	1812.31	3.43	542.30
A.4.1	6.50	6.95	6.33	956.40	969.30	496.00	473.30	2.02	2.10	3.85	18.83	79.53	504.00	1732.41	3.20	541.38
A.4.2	6.50	6.95	6.24	936.80	951.70	490.00	461.70	2.03	2.10	3.46	18.49	81.30	520.00	1787.41	3.00	595.80
A.4.3	6.50	6.95	6.46	941.20	960.30	494.00	466.30	2.02	2.10	3.96	18.92	79.05	505.00	1819.30	3.50	519.80
Rata-rata	6.50	6.95	6.34	944.80	960.43	493.33	467.10	2.02	2.10	3.76	18.75	79.96	509.67	1779.71	3.23	552.33
A.5.1	7.00	7.53	6.41	948.60	951.80	489.00	462.80	2.05	2.09	1.94	18.10	89.31	390.00	1289.00	3.60	358.05
A.5.2	7.00	7.53	6.27	945.60	950.00	485.00	465.00	2.03	2.09	2.71	18.74	85.55	370.00	1332.95	2.80	476.06
A.5.3	7.00	7.53	6.43	944.10	951.00	488.00	463.00	2.04	2.09	2.44	18.52	86.81	400.00	1322.05	2.00	661.02
Rata-rata	7.00	7.53	6.37	946.10	950.93	487.33	463.60	2.04	2.09	2.36	18.46	87.22	386.67	1314.67	2.80	498.38



### B.2.1. Perhitungan pengujian perendaman KAO 100% AA FAA

Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Tebal Benda Uji cm	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji cm <sup>3</sup>	Kepadatan (Berat Isi) (Gmb) g/cm <sup>3</sup>	BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis)	VIM 3 - 4 %	VMA ≥ 15 %	VFA ≥ 65 %	Stabilitas ≥ 976.1		Kelelehan 2 - 4 mm	MQ ≥ 250 kg/mm
	Terhadap Campuran %	Terhadap Agregat %		Kering gram	SSD gram	Dalam Air gram							Bacaan Alat kg	Setelah Koreksi kg		
a	b	c	d	e	f	g	h = (f - g)	i = (e / h)	j	k	l	m	n	o	p	q
I	5.88	6.24	6.22	1195.20	1203.50	689.00	514.50	2.32	2.42	3.95	18.38	78.52	580.00	1916.97	4.30	445.81
II	5.88	6.24	6.21	1198.20	1204.10	690.00	514.10	2.33	2.42	3.63	18.11	79.95	570.00	1883.92	3.50	538.26
III	5.88	6.24	6.23	1190.00	1202.20	691.00	511.20	2.33	2.42	3.75	18.21	79.42	590.00	1950.02	4.00	487.51
Rata-rata	<b>5.88</b>	<b>6.24</b>	<b>6.22</b>	<b>1194.47</b>	<b>1203.27</b>	<b>690.00</b>	<b>513.27</b>	<b>2.33</b>	<b>2.42</b>	<b>3.78</b>	<b>18.24</b>	<b>79.30</b>	<b>580.00</b>	<b>1916.97</b>	<b>3.93</b>	<b>490.52</b>
Rendaman 24 Jam (Durabilitas)																
IV	5.88	6.24	6.28	1188.80	1194.60	684.00	510.60	2.33	2.42	3.73	18.20	79.49	550.00	1817.82	4.00	454.45
V	5.88	6.24	6.23	1192.50	1203.50	690.00	513.50	2.32	2.42	3.98	18.41	78.39	555.00	1834.34	5.20	352.76
VI	5.88	6.24	6.33	1196.80	1204.50	693.00	511.50	2.34	2.42	3.26	17.79	81.71	560.00	1850.87	3.40	544.37
Rata-rata	<b>5.88</b>	<b>6.24</b>	<b>6.28</b>	<b>1192.70</b>	<b>1200.87</b>	<b>689.00</b>	<b>511.87</b>	<b>2.33</b>	<b>2.42</b>	<b>3.66</b>	<b>18.13</b>	<b>79.86</b>	<b>555.00</b>	<b>1834.34</b>	<b>4.20</b>	<b>450.53</b>

### B.2.2. Perhitungan pengujian perendaman pada kadar aspal optimum gradasi rapat/FAA

No. Briket			Tebal Benda Uji	Kadar Aspal Pb	Kadar Agregat	Berat Benda Uji			volume benda uji	BJ Campuran		VIM	VMA	VFB	Stabilitas			flow	MQ
						Kering	SSD	Dalam Air		Kepadatan (Berat isi)	Maksimum (Teoritis)	3.5	≥ 15	76-82	Bacaan Alat	Angka Koreksi	Setelah Koreksi		≥ 250
			mm	%	%	gr	gr	gr		Gmb	Gmm	%	%	%				mm	kg/mm
a			b	c	d	e	f	g	h = f-g	i = e/h	j	k	l	m	n	o	p	q	r
perendaman 30 menit	5.1	I	68.0	5.1	94.9	1178	1197.1	657	540.1	2.18	2.37	3.57	17.72	79.83	750	0.90	2222.69	4.00	555.67
		II	68.8	5.1	94.9	1181.7	1198.9	656	542.9	2.18	2.37	3.77	17.89	78.93	660	0.88	1920.98	3.00	640.33
		III	68.9	5.1	94.9	1181.8	1197.9	654	543.9	2.17	2.37	3.94	18.03	78.16	680	0.88	1973.57	3.80	519.36
Rata-rata									542.3	2.18	2.37	3.76	17.88	78.97	696.67	0.89	2039.08	3.60	571.79
perendaman 24 jam	5.1	IV	68.5	5.1	94.9	1180.2	1193.6	654	539.6	2.19	2.37	3.30	17.49	81.11	670	0.89	1961.15	3.50	560.33
		V	67.0	5.1	94.9	1183.7	1193.5	652	541.5	2.19	2.37	3.36	17.53	80.85	650	0.92	1980.04	2.60	761.55
		VI	68.6	5.1	94.9	1185.3	1199.3	655	544.3	2.18	2.37	3.72	17.85	79.13	665	0.89	1945.15	2.80	694.69
Rata-rata									541.8	2.18	2.37	3.46	17.62	80.36	661.67	0.90	1962.11	2.97	672.19

### B.2.3. Perhitungan pengujian perendaman KAO 25% AB 25% ABSC 50% AA FAA

Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Tebal Benda Uji cm	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji cm <sup>3</sup>	Kepadatan (Berat Isi) (Gmb) g/cm <sup>3</sup>	BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis)	VIM 3 - 4 %	VMA ≥ 15 %	VFA 76-82 %	Stabilitas ≥ 976.1		Kelelehan 2 - 4 mm	MQ ≥ 250 kg/mm
	Terhadap Campuran %	Terhadap Agregat %		Kering gram	SSD gram	Dalam Air gram							Bacaan Alat kg	Setelah Koreksi kg		
a	b	c	d	e	f	g	h = (f - g)	i = (e / h)	j	k	l	m	n	o	p	q
KAO 30"	6.33	6.75	7.17	1178.90	1187.60	641.00	546.60	2.16	2.24	3.83	17.42	78.00	450.00	1323.70	3.30	401.12
KAO 30"	6.33	6.75	7.23	1171.20	1182.90	640.00	542.90	2.16	2.24	3.81	17.40	78.11	420.00	1290.98	3.80	339.73
KAO 30"	6.33	6.75	7.17	1179.60	1190.10	645.00	545.10	2.16	2.24	3.51	17.14	79.53	420.00	1290.98	3.20	403.43
Rata-rata	<b>6.33</b>	<b>6.75</b>	<b>7.19</b>	<b>1176.57</b>	<b>1186.87</b>	<b>642.00</b>	<b>544.87</b>	<b>2.16</b>	<b>2.24</b>	<b>3.72</b>	<b>17.32</b>	<b>78.55</b>	<b>430.00</b>	<b>1301.89</b>	<b>3.43</b>	<b>381.43</b>
Rendaman 24 Jam (Durabilitas)																
KAO 24	6.33	6.75	7.27	1185.10	1198.60	649.00	549.60	2.16	2.24	3.85	17.44	77.90	400.00	1176.62	3.30	356.55
KAO 24	6.33	6.75	7.11	1172.70	1190.50	649.00	541.50	2.17	2.24	3.44	17.08	79.88	380.00	1168.03	3.80	307.38
KAO 24	6.33	6.75	7.05	1175.50	1189.80	645.00	544.80	2.16	2.24	3.79	17.38	78.19	400.00	1229.50	3.20	384.22
Rata-rata	<b>6.33</b>	<b>6.75</b>	<b>7.14</b>	<b>1177.77</b>	<b>1192.97</b>	<b>647.67</b>	<b>545.30</b>	<b>2.16</b>	<b>2.24</b>	<b>3.69</b>	<b>17.30</b>	<b>78.66</b>	<b>393.33</b>	<b>1191.39</b>	<b>3.43</b>	<b>349.38</b>

#### B.2.4. Perhitungan pengujian perendaman KAO 25% AB 75% ABSC FAA

Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Tebal Benda Uji	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji	Kepadatan (Berat Isi) (Gmb)	BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis)	VIM 3 - 4	VMA ≥ 15	VFA 76-82	Stabilitas ≥ 976.1		Kelelehan 2 - 4	MQ ≥ 250
	Terhadap Campuran	Terhadap Agregat		Kering	SSD	Dalam Air							Bacaan Alat	Setelah Koreksi		
	%	%		gram	gram	gram							kg	kg		
a	b	c	d	e	f	g	$h = (f - g)$	$i = (e / h)$	j	k	l	m	n	o	p	q
KAO 30"	6.33	6.75	6.44	984.50	986.00	502.00	484.00	2.03	2.12	3.84	16.12	76.18	350.00	1260.90	3.10	406.74
KAO 30"	6.33	6.75	6.56	983.00	987.90	505.00	482.90	2.04	2.12	3.77	16.05	76.54	342.00	1288.60	3.30	390.48
KAO 30"	6.33	6.75	6.47	995.90	997.50	508.00	489.50	2.03	2.12	3.82	16.10	76.28	340.00	1224.88	4.40	278.38
Rata-rata	<b>6.33</b>	<b>6.75</b>	<b>6.49</b>	<b>987.80</b>	<b>990.47</b>	<b>505.00</b>	<b>485.47</b>	<b>2.03</b>	<b>2.12</b>	<b>3.81</b>	<b>16.09</b>	<b>76.33</b>	<b>344.00</b>	<b>1258.13</b>	<b>3.60</b>	<b>358.54</b>
Rendaman 24 Jam (Durabilitas)																
KAO 24	6.33	6.75	6.45	987.00	991.00	505.00	486.00	2.03	2.12	3.99	16.25	75.44	315.00	1134.81	3.10	366.07
KAO 24	6.33	6.75	6.45	993.50	995.90	509.00	486.90	2.04	2.12	3.54	15.85	77.68	310.00	1116.80	3.80	293.89
KAO 24	6.33	6.75	6.37	977.00	985.90	506.00	479.90	2.04	2.12	3.76	16.04	76.59	310.00	1168.03	5.50	212.37
Rata-rata	<b>6.33</b>	<b>6.75</b>	<b>6.42</b>	<b>985.83</b>	<b>990.93</b>	<b>506.67</b>	<b>484.27</b>	<b>2.04</b>	<b>2.12</b>	<b>3.76</b>	<b>16.05</b>	<b>76.57</b>	<b>311.67</b>	<b>1139.88</b>	<b>4.13</b>	<b>290.78</b>

### B.2.5. Perhitungan pengujian perendaman KAO 100% AA BBA

Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Tebal Benda Uji cm	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji cm <sup>3</sup>	Kepadatan (Berat Isi) (Gmb) g/cm <sup>3</sup>	BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis)	VIM 3 - 4 %	VMA ≥ 15 %	VFA 76-82 %	Stabilitas ≥ 976.1		Kelelahan 2 - 4 mm	MQ ≥ 250 kg/mm
	Terhadap Campuran %	Terhadap Agregat %		Kering gram	SSD gram	Dalam Air gram							Bacaan Alat kg	Setelah Koreksi kg		
a	b	c	d	e	f	g	$h = (f - g)$	$i = (e / h)$	j	k	l	m	n	o	p	q
KAO 30	5.95	6.33	6.32	1174.30	1183.60	678.00	505.60	2.32	2.42	3.84	21.23	81.91	670.00	2303.01	3.70	622.43
KAO 30	5.95	6.33	6.31	1177.80	1185.70	678.00	507.70	2.32	2.42	3.95	21.33	81.46	640.00	2199.89	4.30	511.60
KAO 30	5.95	6.33	6.40	1182.80	1191.50	682.00	509.50	2.32	2.42	3.89	21.27	81.73	560.00	1850.87	2.70	685.51
Rata-rata	<b>5.95</b>	<b>6.33</b>	<b>6.34</b>	<b>1178.30</b>	<b>1186.93</b>	<b>679.33</b>	<b>507.60</b>	<b>2.32</b>	<b>2.42</b>	<b>3.89</b>	21.28	<b>81.70</b>	<b>623.33</b>	<b>2117.92</b>	<b>3.57</b>	<b>606.51</b>
KAO 24	5.95	6.33	6.40	1185.50	1198.60	688.00	510.60	2.32	2.42	3.87	21.26	81.78	580.00	1916.97	3.80	504.47
KAO 24	5.95	6.33	6.34	1175.20	1185.10	679.00	506.10	2.32	2.42	3.86	21.25	81.83	590.00	2028.02	3.10	654.20
KAO 24	5.95	6.33	6.34	1180.00	1190.50	682.00	508.50	2.32	2.42	3.92	21.30	81.58	585.00	2010.84	3.40	591.42
Rata-rata	<b>5.95</b>	<b>6.33</b>	<b>6.36</b>	<b>1180.23</b>	<b>1191.40</b>	<b>683.00</b>	<b>508.40</b>	<b>2.32</b>	<b>2.42</b>	<b>3.89</b>	21.27	<b>81.73</b>	<b>585.00</b>	<b>1985.28</b>	<b>3.43</b>	<b>583.36</b>

### B.2.6. Perhitungan pengujian perendaman KAO 25% AB 75% AA BBA

No. Briket			Tebal Benda Uji	Kadar Aspal Pb	Kadar Agregat	Berat Benda Uji			volume benda uji	BJ Campuran		VIM	VMA	VFB	Stabilitas			flow	MQ
						Kering	SSD	Dalam Air		Kepadatan (Berat isi)	Maksimum (Teoritis)	3.5	≥ 15	76-82	Bacaan Alat	Angka Koreksi	Setelah Koreksi		≥ 250
			mm	%	%	gr	gr	gr		Gmb	Gmm	%	%	%				mm	kg/mm
a			b	c	d	e	f	g	h = f-g	i = e/h	j	k	l	m	n	o	p	q	r
perendaman 30 menit	6.1	I	65.40	6.1	93.9	1178.6	1185.7	653	524.7	2.21	2.33	3.72	17.41	78.64	670	0.95	2113.4	3.90	541.9
		II	65.73	6.1	93.9	1176.1	1184.6	652	521.6	2.21	2.33	3.90	17.57	77.78	640	0.95	2016.1	3.50	576.0
		III	65.47	6.1	93.9	1177.4	1185.9	653	521.9	2.21	2.33	3.85	17.53	78.02	650	0.95	2038.2	3.50	582.4
Rata-rata			65.5						522.7	2.21	2.33	3.83	17.50	80.84	653	0.95	2055.9	3.63	566.8
perendaman 24 jam	6.1	I	65.47	6.1	93.9	1165.4	1177.6	653	524.6	2.22	2.33	3.33	17.08	80.52	640	0.96	2021.4	3.10	652.1
		II	65.33	6.1	93.9	1160.6	1174.9	650	524.9	2.21	2.33	3.78	17.47	78.36	585	0.95	1833.2	2.50	733.3
		III	65.47	6.1	93.9	1164.6	1175.2	655	520.2	2.24	2.33	2.58	16.43	84.32	600	0.95	1885.2	3.00	628.4
Rata-rata			65.4						523.2	2.22	2.33	3.23	16.99	81.07	608	0.95	1913.3	2.87	671.2

### B.2.7. Perhitungan pengujian perendaman KAO 25% AB 25% ABSC 50% AA BBA

Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Tebal Benda Uji	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji	Kepadatan (Berat Isi) (Gmb)	BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis)	VIM 3 - 4	VMA ≥ 15	VFA 76-82	Stabilitas ≥ 976.1		Kelelahan 2 - 4	MQ ≥ 250
	Terhadap Campuran	Terhadap Agregat		Kering	SSD	Dalam Air							Bacaan Alat	Setelah Koreksi		
	%	%		gram	gram	gram							kg	kg		
a	b	c	d	e	f	g	$h = (f - g)$	$i = (e / h)$	j	k	l	m	n	o	p	q
KAO 30"	6.45	6.89	6.86	1166.80	1185.70	641.00	544.70	2.14	2.23	3.97	19.80	79.93	475.00	1350.14	3.20	421.92
KAO 30"	6.45	6.89	6.86	1163.10	1181.00	640.00	541.00	2.15	2.23	3.62	19.51	81.42	495.00	1406.99	4.70	299.36
KAO 30"	6.45	6.89	6.89	1161.70	1181.30	641.00	540.30	2.15	2.23	3.61	19.50	81.46	510.00	1500.19	3.10	483.93
Rata-rata	6.45	6.89	<b>6.87</b>	<b>1163.87</b>	<b>1182.67</b>	<b>640.67</b>	<b>542.00</b>	<b>2.15</b>	<b>2.23</b>	<b>3.74</b>	<b>19.60</b>	<b>80.94</b>	<b>493.33</b>	<b>1419.11</b>	<b>3.67</b>	<b>401.74</b>
KAO 24	6.45	6.89	6.90	1168.00	1189.90	645.00	544.90	2.14	2.23	3.91	19.75	80.20	445.00	1264.87	2.20	574.94
KAO 24	6.45	6.89	6.93	1173.20	1192.10	645.00	547.10	2.14	2.23	3.87	19.71	80.36	450.00	1323.70	3.50	378.20
KAO 24	6.45	6.89	6.62	1163.50	1182.30	642.00	540.30	2.15	2.23	3.47	19.37	82.11	430.00	1264.87	6.60	191.65
Rata-rata	6.45	<b>6.89</b>	<b>6.82</b>	<b>1168.23</b>	<b>1188.10</b>	<b>644.00</b>	<b>544.10</b>	<b>2.15</b>	<b>2.23</b>	<b>3.75</b>	<b>19.61</b>	<b>80.89</b>	<b>441.67</b>	<b>1284.48</b>	<b>4.10</b>	<b>381.60</b>

### B.2.8. Perhitungan pengujian perendaman KAO 25% AB 75% ABSC BBA

Nomor  Benda  Uji	Kadar Aspal		Tebal  Benda  Uji	Berat Benda Uji			Isi  Benda  Uji	Kepadatan  (Berat Isi)  (Gmb)	BJ Campuran  Maksimum  (Gmm)  (teoritis)	VIM  3 - 4	VMA  ≥ 15	VFA  76-82	Stabilitas ≥ 976.1		Kelelahan  2 - 4	MQ  ≥ 250
	Terhadap Campuran	Terhadap Agregat		Kering	SSD	Dalam Air							Bacaan Alat	Setelah Koreksi		
	%	%		gram	gram	gram							kg	kg		
a	b	c	d	e	f	g	$h = (f - g)$	$i = (e / h)$	j	k	l	m	n	o	p	q
A.1.1	6.45	6.89	6.38	964.50	974.60	498.00	476.60	2.02	2.10	3.76	17.68	78.70	380.00	1255.95	4.00	313.99
A.1.2	6.45	6.89	6.48	966.80	975.60	498.00	477.60	2.02	2.10	3.74	17.65	78.83	390.00	1405.01	2.60	540.39
A.1.3	6.45	6.89	6.51	965.00	973.60	497.00	476.60	2.02	2.10	3.72	17.64	78.93	370.00	1222.89	3.20	382.15
Rata-rata	<b>6.45</b>	<b>6.89</b>	<b>6.46</b>	<b>965.43</b>	<b>974.60</b>	<b>497.67</b>	<b>476.93</b>	<b>2.02</b>	<b>2.10</b>	<b>3.74</b>	<b>17.66</b>	<b>78.82</b>	<b>380.00</b>	<b>1294.62</b>	<b>3.27</b>	<b>412.18</b>
A.2.1	6.45	6.89	6.30	966.00	976.10	498.00	478.10	2.02	2.10	3.92	17.81	78.00	310.00	1065.57	4.10	259.90
A.2.2	6.45	6.89	6.43	968.00	975.80	497.00	478.80	2.02	2.10	3.86	17.76	78.27	320.00	1205.71	3.70	325.87
A.2.3	6.45	6.89	6.38	972.20	981.20	499.00	482.20	2.02	2.10	4.12	17.98	77.07	340.00	1224.88	3.80	322.34
Rata-rata	<b>6.45</b>	<b>6.89</b>	<b>6.37</b>	<b>968.73</b>	<b>977.70</b>	<b>498.00</b>	<b>479.70</b>	<b>2.02</b>	<b>2.10</b>	<b>3.97</b>	<b>17.85</b>	<b>77.78</b>	<b>323.33</b>	<b>1165.39</b>	<b>3.87</b>	<b>302.70</b>



## Lampiran B.3

### B.3.1. Keterangan Pada Tabel Perhitungan Karakteristik *Marshall*

Notasi	Keterangan	
a	Nomor Briket	-
b	Tebal benda uji (mm)	-
c	Kadar aspal (%)	-
d	Kadar Agregat (%)	-
e	Berat kering (gr)	-
f	Berat dalam keadaan jenuh/SSD (gr)	-
g	Berat dalam air (gr)	-
h	Volume benda uji (ml)	f-g
i	Berat isi benda uji (Gmb)	e/h
j	BJ Maksimum (Teoritis)	$\frac{100}{\frac{\% \text{agregat}}{\text{bj. agregat}} + \frac{\% \text{aspal}}{\text{bj. aspal}}}$
k	Volume total aspal (%)	$(c \times i) / \text{bj. aspal}$
l	Volume total agregat (%)	$((100 - c) / \text{bj. efektif}) \times i$
m	Rongga dalam campuran (%)	$100 \times ((j - i) / j)$
n	Ronggan dalam Agregat (%)	$100 - k$
o	Rongga terisi aspal (%)	$\frac{k}{n} \times 100$
p	Stabilitas bacaan alat	pembacaan dial
q	Angka koreksi ketebalan	lihat tabel
r	Stabilitas terkoreksi kalibrasi alat	$n \times o \times \text{kalibrasi alat}$ [7,28 (lbs) x 0,454 (kg)]
s	pelelehan ( <i>flow</i> ) (mm)	pembacaan dial
t	<i>Marshall quotient</i> (kg/mm)	r/s

### B.3.2. Tabel Angka Koreksi Pada Perhitungan Stabilitas Marshall

Isi	Tebal Benda Uji	Angka Koreksi
200-213	25.4	5.56
214-225	27	5.00
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	35.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-328	39.7	2.5
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.4	1.92
368-379	46	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1.00
523-535	65.1	0.96
536-546	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89
560-573	69.9	0.86
574-585	71.4	0.83
586-598	73	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76

## LAMPIRAN C

### C. DOKUMENTASI PENELITIAN



a. Proses persiapan pembuatan agregat buatan



b. Material yang digunakan



c. Pemeriksaan material



d. Pengujian *Marshall*

## BIODATA PENULIS



### **MIRZA AL MAHBUBI**

Penulis dilahirkan di Banda Aceh, 27 Juni 1995. Penulis adalah anak dari pasangan Ali Basrah dan Asnawati sebagai anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Percontohan Aceh Tenggara, SMPN dan SMAN Perisai Aceh Tenggara.

Lulus dari SMA pada tahun 2012, kemudian penulis melanjutkan perkuliahan di jenjang Strata satu (S1) Pada program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. Selama menempuh gelar Sarjana penulis aktif diberbagai organisasi kampus dan non kampus.

Setelah menyelesaikan Pendidikan S1 pada tahun 2016, Penulis aktif diberbagai kegiatan organisasi masyarakat. Pada tahun 2017 Penulis berkesempatan untuk melanjutkan pendidikan meraih gelar Magister. Penulis mengambil program studi S2 pada bidang Manajemen Rekayasa Transportasi, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Dengan NRP 03111750060005. Penulis berharap Tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca terutama untuk perkembangan penggunaan agregat buatan dalam perkerasan.

*Mirza Al Mahbubi (Mr.)*

*Civil Engineering Student*

*Sepuluh Nopember Institute of Technology, Surabaya*

*Mirzaalmahbubi@gmail.com*

